Universidade do Minho
Escola de Engenharia

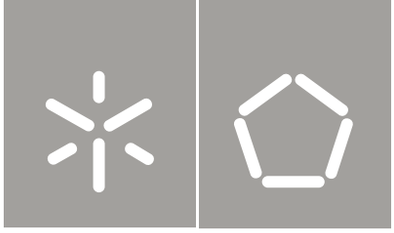
Armando José Cardoso Alves

Gestão de Motores de Combustão Interna

Armando José Cardoso Alves Gestão de Motores de Combustão Interna

UMinho | 2013

outubro de 2013



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Armando José Cardoso Alves

Gestão de Motores de Combustão Interna

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecatrónica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor José Jorge Gomes Martins
Professor Doutor Eurico Augusto Rodrigues Seabra

outubro de 2013

DECLARAÇÃO

Nome: Armando José Cardoso Alves

Correio electrónico: aalvesbao@hotmail.com

TIm.: +351 91 90 79 573

Número do Bilhete de Identidade:13462929

Título da dissertação:

Gestão de Motores de Combustão Interna

Ano de conclusão: 2013

Orientadores:

Professor Doutor José Jorge Gomes

Professor Doutor Eurico Augusto Rodrigues Seabra

Designação do Mestrado:

Ciclo de Estudos Conducente ao Grau de Mestre em Engenharia Mecatrónica

Área de Especialização: Mecatrónica

Escola: Universidade do Minho

Departamento: Engenharia Mecânica

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Guimarães, ___/___/_____

Assinatura: _____

Dedico aos meus pais por todo o esforço e apoio ao longo destes anos.

AGRADECIMENTOS

Após a conclusão deste trabalho agradeço a todos incluindo família, amigos e colegas que me motivaram e apoiaram durante realização deste trabalho. Assim passo a agradecer:

- Aos meus pais;

- Pedro Santos;

- Nuno Pacheco;

- Professor Doutor Jorge Martins;

- Professor Doutor Francisco Brito;

- Professor Doutor Eurico Seabra;

- Professor Doutor Caetano Monteiro;

- Técnico das oficinas do DEM, Vítor Neto;

- Engenheiro Eurico Rodrigues;

RESUMO

As preocupações com a sustentabilidade nunca foram tão altas como as de atualmente. A imposição de legislações referentes a emissões de gases poluentes e de efeito de estufa cada vez mais restritas juntamente com o aumento do custo do petróleo exige uma renovação nos meios de transporte pelos quais no regemos.

Embora se continue a utilizar massivamente motores de combustão interna como fonte mecânica de propulsão, a utilização de motores elétricos em automóveis tem vindo a ser implementada e desenvolvida, representando uma potencial solução para a redução de emissões de gases. Relativamente aos automóveis elétricos o principal problema é a sua autonomia limitada, pelo que o conceito de *Range Extender* (um motor de combustão que atua como gerador dentro do automóvel para estender a autonomia das baterias) apresenta-se como uma solução viável para resolver este problema.

Este trabalho visa a implementação de um novo sistema de gestão eletrónico compatível com a transformação do ciclo de um motor *Otto* para *Miller,* que tem como objetivo final a sua aplicação como *Range Extender* de elevada eficiência energética num veículo elétrico.

Inicialmente foi feito um estudo sobre sistemas eletrónicos de gestão de motores de combustão interna de ignição comandada, fazendo uma análise aos componentes envolvidos e o seu funcionamento, seguido da implementação do sistema de gestão MegaSquirtII V3.0 num motor BMW75 tendo em conta a futura transformação do ciclo de funcionamento deste, para o ciclo *Miller* LIVC *(Late Intake Valve Close)*.

Previamente à implementação do novo sistema foi necessário colocar em devido funcionamento o motor original e ultrapassar os vários problemas mecânicos e elétricos existentes. Da mesma forma, foi necessário adaptar as instalações experimentais existentes no laboratório, que necessitaram de várias melhorias ao nível dos sensores, actuadores e sistemas de aquisição de dados. Neste âmbito foi desenvolvido de raiz um sistema de aquisição de dados baseado numa placa programável ARDUINO Mega, incluindo toda a electrónica de condicionamento de sinal e desenvolvimento de um interface de utilizador com manual de utilização. Foi possível colocar a instalação experimental em condições de efetuar convenientemente testes a motores em geral.

A adaptação do sistema de gestão do motor para o sistema Megasquirt implicou: a caracterização do sistema existente, nomeadamente foi desenvolvido um método para ler os mapas existentes para facilitar a afinação do motor; o desenvolvimento de um novo sensor de posição de cambota; a alteração do sensor de posição do acelerador baseado em três posições (ralenti, wide open throttle e posições intermédias) para outro de variação linear para permitir a utilização do algoritmo Alfa-N; elaboração dos mapas de injeção com base na eficiência volumétrica; incorporação de controlo com sonda lamba; desenvolvimento da electrónica para permitir ao sistema fazer o controlo de ignição sem distribuidor.

Embora não tenha sido possível otimizar o sistema e afinar o motor cabalmente, nomeadamente devido à falta de tempo ocasionada pelos atrasos sucessivos causados pelo funcionamento deficiente de alguns componentes e equipamentos, a alteração para o novo sistema foi concluída com sucesso e poderá ser facilmente otimizada em trabalhos futuros.

Palavras-chave: L-Jetronic, MegaSquirt, aquisição de dados, Arduino, motor, combustão, sistema de gestão, unidade de controlo, injeção, ignição, mistura, sensor, circuito.

ABSTRACT

The Concerns about sustainability have never been as high as those of today. The enforcement of laws relating to greenhouse gas emissions and the effect of increasingly stringent emissions along with the rising cost of oil requires a renewal means of transport by which the wield.

Although the continued use of massively internal combustion engines as a source of mechanical propulsion, the use of electric motors in cars has been implemented and developed, representing a potential solution for decrease gas emissions. Regarding electric cars the main problem is its limited range, so the concept of Range Extender (a combustion engine that acts as a generator inside the vehicle to extend the autonomy of the batteries) presents itself as a viable solution to solve this problem .

This study aims at implementing a new electronic management system compatible with the transformation of an *Otto* cycle engine to *Miller* , who has the ultimate goal of its application as a high energy efficiency Range Extender for a electric vehicle.

Initially a study of electronic management systems of internal combustion spark ignition engines was done reviewing the components involved and its working principle, followed by the implementation of the MegaSquirtII V3.0 management system on a BMW K75 engine considering the future transformation of its operating cycle to Miller LIVC (Late Intake Valve Close) cycle.

Previously to implementation of the new system, was necessary to put the original system of the engine in proper working order and overcome several mechanical and electric issues. Likewise, it was necessary to adapt the existing experimental facilities in the laboratory, which required several improvements in sensors, actuators and data acquisition systems. In this scope was developed from root a data acquisition system based on a programmable Arduino Mega board, including all signal conditioning electronics and development of a user interface with user manual. Finally it was possible to place the experimental setup in conditions of conveniently perform tests to engines in general.

The adaptation of the engine management system to the MegasquirtII system involved: characterizing the existing system, by developing a method to read existing maps to ease the tuning of the engine; the development of a new crankshaft position sensor; the change of the throttle

position sensor based on three positions (idle, wide open throttle and intermediate positions) into a linear variable sensor to allow the use of the Alpha-N algorithm; procure of injection maps based on the volumetric efficiency; incorporate of lambda control; development of electronics to allow the system to control ignition without the original ignition control unit.

Although it was not possible to optimize the system and tune the engine fully, namely by the lack of time caused by the successive delays as a consequence of the malfunction of some components and equipment, the change to the new system was completed successfully and can be easily optimized in future work.

Key-words: L-Jetronic, MegaSquirt, data aquisition, Arduino, engine, combustion, managment system, control unit, injection, ignition, mixture, sensor, circuit.

ÍNDICE

Declaração iii

Agradecimentos vii

Resumo ix

Abstract xi

Índice xi

Índice de Figuras xvii

Índice de Tabelas xxv

1 Introdução 1

1.1 Motivação 1

1.2 Objetivos 1

2 Revisão Bibliográfica 3

2.1 História dos Motores de Combustão Interna 3

2.1.1 A Invenção do Motor de Combustão Interna 3

2.2 Princípio de Funcionamento de um Motor 5

2.3 Preparação da Mistura 8

2.3.1 Preparação da Mistura por Carburador 10

2.3.2 Preparação de Mistura por Injeção 12

2.3.3 Sistemas Motronic 36

2.4 Sistemas Atuais 54

2.4.1 Motronic MED 54

2.4.2 OBDII 60

3 Análise do Problema 63

3.1 Motor 63

3.2 Soluções 65

4 Projeto de instalação MegaSquirtII 67

4.1 MegaSquirtII 67

4.2 Sensores 68

4.2.1 Sensor de Temperatura do Motor 68

4.2.2 Sensor de Temperatura do Ar de Admissão 69
4.2.3 Sensor do Acelerador 69
4.2.4 Sensor de Posição da Cambota 71
4.2.5 Sensor Lambda *Wideband* 74
4.3 Placa V3.0 75
4.3.1 Circuito do Sensor de Posição da Cambota 75
4.3.2 *Drivers* de Ignição COP – *Coil On Plug* 77
4.4 Cablagem 79

5 Preparação Laboratorial 83
5.1 Preparação do Motor 83
5.2 Equipamento de Monitorização do Motor 84
5.2.1 Tacómetro 84
5.2.2 Mostrador de Temperatura 85
5.2.3 Sonda Lambda 87
5.3 Testes de Funcionamento 87
5.3.1 Causas e Soluções dos Problemas Encontrados 89
5.4 Sistema de Aquisição de Dados *Power Logger* 94
5.4.1 Sistema de Aquisição Anterior 94
5.4.2 Requisitos do sistema 97
5.4.3 Análise dos Sinais produzidos pelos Sensores 97
5.4.4 Escolha de Componentes 101
5.4.5 Condicionamento de Sinal 103
5.4.6 Protótipo do Sistema de Aquisição 108
5.4.7 Programação da placa Arduino 109
5.4.8 UI Power Logger 114
5.4.9 Acondicionamento do Sistema de Aquisição 114
5.5 Problemas no Freio Hidráulico 116
5.5.1 Suporte do Freio Hidráulico 116
5.5.2 Casquilhos dos Pinos de Pivotagem 117
5.5.3 Fixação da Célula de Carga 119
5.6 Leitura dos Mapas de Injeção 121
5.6.1 Recolha de valores de funcionamento 121
5.6.2 Determinação dos mapas de injeção 129

6 Instalação do Sistema MegaSquirtII 133

6.1 Instalação da Cablagem 133
6.2 Configuração 133
6.2.1 Parâmetros de Injeção 134
6.2.2 Parâmetros de Ignição/Sensor de Posição da Cambota 138
6.2.3 Calibração de Sensores 140
6.3 Afinação 144
6.3.1 Ignição 144
6.3.2 Eficiência Volumétrica 146

7 Análise de Resultados e Resolução de Problemas 149
7.1.1 Placa MegaSquirtII V3.0 149
7.1.2 Sensor de posição da cambota 151
7.1.3 Ignição 153
7.1.4 Sensor IAT 155

8 Conclusões e Trabalhos futuros 157
8.1.1 Trabalhos Futuros 158

Referências 163

Anexo A – Esquema elétrico k75 169

Anexo B - Desenho técnico da roda codificadora 171

Anexo C - Documentação KAL-D R/T 173

Anexo D - Esquema do protótipo do sistema de aquisição 175

Anexo E - Código de programação Arduino do sistema de aquisição 176

Anexo F – Manual do sistema de aquisição de dados 179

Anexo G – Esquema eletrónico do sistema de aquisição de dados 187

Anexo H – Código de programação Arduino de simulação do sensor de posição da cambota 189

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Motor a vapor (Yourdictionary s.d.). 4

Figura 2.2 – Sistema biela-manivela, reproduzido de (Martins 2013). 6

Figura 2.3 – Pontos mortos do motor, reproduzido de (Martins 2013) 6

Figura 2.4 – Os 4 tempos do motor de ignição comandada (reproduzido de (Martins 2013)) . 7

Figura 2.5 – AFR em função de potência e consumo adaptado de (Charles O. Probst 1989) . 9

Figura 2.6 – Smog em Los Angeles (KCET 2012)..... 10

Figura 2.7 – Modo de funcionamento do carburador adaptado de (Charles O. Probst 1989) 11

Figura 2.8 – Motor Mercedes-Benz SL300 de 1955, com sistema de injeção direta Bosch adaptado de (Charles O. Probst 1989) 13

Figura 2.9 – Sistema K-jetronic da Bosch reproduzido de (Martins 2013) 15

Figura 2.10 – Sistema K-Jetronic com lambda adaptado de (Charles O. Probst 1989) 17

Figura 2.11 – Sistema KE-Jetronic adaptado de (Charles O. Probst 1989) 18

Figura 2.12 – Sistema KE3-jetronic com o controlo de injeção e de ignição separados, adaptado de (Charles O. Probst 1989) 19

Figura 2.13 – Sistema KE-Motronic com controlo de injeção e ignição no mesmo módulo, adaptado de (Charles O. Probst 1989) 20

Figura 2.14 – Sistema L-Jetronic adaptado de (Charles O. Probst 1989) 22

Figura 2.15 – Vista em corte de um sensor MAP utilizado em sistemas D-Jetronic, adaptado de (Charles O. Probst 1989) 23

Figura 2.16 – Distribuidor do sistema D-Jetronic BOSCH adaptado de (Charles O. Probst 1989) 24

Figura 2.17 – TPS do sistema D-Jetronic adaptado de (Charles O. Probst 1989) 24

Figura 2.18 – Entrada de ar do MAF de um sistema L-Jetronic implementado num motor BMW K75 com a comporta em repouso 25

Figura 2.19 – Sensor utilizado no MAF referida na Figura 2.18 comporta repouso..... 25

Figura 2.20 – TPS de um sistema L-Jetronic implementado numa moto BMW K75 26

Figura 2.21 – Regulador de pressão da rampa de injeção do sistema L-Jetronic, adaptado de (Charles O. Probst 1989) 26

Figura 2.22 – Circuito eletrónico fio quente de um MAF BOSCH, reproduzido de (Charles O. Probst 1989) 28

Figura 2.23 – MAF de filamento, adaptado de (Martins 2013) 28

Figura 2.24 – Bomba de combustível 29

Figura 2.25 – Injetor L-Jetronic adaptado de (Charles O. Probst 1989) 31

Figura 2.26 – Relé de combinações com esquema elétrico interno 32

Figura 2.27 – Sensor de temperatura do motor adaptado de (Charles O. Probst 1989) 32

Figura 2.28 – Termóstato elétrico adaptado de (Charles O. Probst 1989) 33

Figura 2.29 – Válvula auxiliar de ar elétrica adaptado de (Charles O. Probst 1989) 34

Figura 2.30 – Vista em corte da válvula auxiliar de ar elétrica adaptado de (Charles O. Probst 1989) 34

Figura 2.31 – Sensor lambda reproduzido de (Olsson 2008) 35

Figura 2.32 – Transdutor do sensor lambda (Martins 2013) 35

Figura 2.33 – Tensão de saída de um sensor lambda em função da razão ar-combustível adaptado de (Charles O. Probst 1989) 36

Figura 2.34 – Esquema Motronic, com o sistema de ignição(1,2), sensores de posição na cambota(3,4), estabilizador de pressão da régua de injeção(5), reproduzido de (Charles O. Probst 1989) 37

Figura 2.35 – Ignição por bateria reproduzido de (Martins 2013) 38

Figura 2.36 – Ignição por magneto reproduzido de (Martins 2013) 38

Figura 2.37 – Tempo de carga da bobina em função da tensão aplicada ao primário adaptado de (Charles O. Probst 1989) 39

Figura 2.38 – Comparação da potência da faísca em relação à velocidade do motor dos sistemas de ignição por bateria e magneto, reproduzido de (Martins 2013) 40

Figura 2.39 – Avanço da ignição num sistema analógico (centrífugo + depressão) reproduzido de (Martins 2013) 40

Figura 2.40 – Avanço da ignição num sistema digital (Bosch) reproduzido de (Martins 2013) 40

Figura 2.41 – Sensores de relutância magnética (1,2) sob o volante do motor, reproduzido de (Charles O. Probst 1989) 42

Figura 2.42 – Esquema de ignição digital Motronic adaptado de (Martins 2013)..... 42

Figura 2.43 – Placas de controlo controlo Motronic e L-Jetronic, A – Circuitos Lógicos, B e C – *Drivers* de potência para os injetores e bobina de ignição. 43

Figura 2.44 – Estabilizador de *ralenti*..... 44

Figura 2.45 – Sinal eletrónico de comando do injetor nos sistemas Motronic, adaptado de (Charles O. Probst 1989) 45

Figura 2.46 – Comparação da largura do pulso de injeção durante a aceleração em sistemas Motronic, t1<t3<t2, adaptado de (Charles O. Probst 1989)..... 47

Figura 2.47 – Limitador de rotação Motronic através do corte de impulso de injeção, adaptado de (Charles O. Probst 1989) 48

Figura 2.48 – Sistema Drive-By-Wire Bosch, adaptado de (Charles O. Probst 1989)..... 49

Figura 2.49 – Sistema de purga do *canister* do sistema Motronic ML.3, adaptado de (Charles O. Probst 1989)..... 51

Figura 2.50 – Controlo de *knock* num motor com turbo, adaptado de (Charles O. Probst 1989) 53

Figura 2.51 – Sensor Knock instalado no bloco do motor, reproduzido de (Pucheng Sensors s.d.)..... 53

Figura 2.52 – Saída de tensão de um sensor *knock* com a ocorrência de *knock* adaptado de (Toyota Motor Sales s.d.)..... 54

Figura 2.53 – Esquema de componentes utilizados num sistema Motronic MED adaptado de (Özdalyan s.d.)..... 55

Figura 2.54 – Estados de mistura relativos a motores de injeção direta, adaptado de (Özdalyan s.d.)..... 58

Figura 2.55 – Funcionamento com mistura homogénea e em carga estratificada (Özdalyan s.d.)..... 59

Figura 2.56 – Sistema de código OBDII reproduzido de (Martins 2013) 61

Figura 2.57 – Ficha OBDII, reproduzido de (Goodwin 2010) 61

Figura 3.1 – Caudalímetro do sistema L-Jetronic adaptado de (Martins 2013) 64

Figura 4.1 – Sistema MegaSquirtII, adaptado de (Al Grippo and Bruce Bowling 18) 68

Figura 4.2 – Curva característica do sensor Bosch 0280130032 (Volvo Car Corporation 1988) 69

Figura 4.3 – Sensor de temperatura do ar de amissão 69

Figura 4.4 – Comparação entre o formato dos sensores de posição do acelerador, do lado o novo sensor e lado direito o sensor do sistema original.....70

Figura 4.5 – Sensor do acelerador instalado no motor. 70

Figura 4.6 – *Encoder* 71

Figura 4.7 – Roda codificadora. 72

Figura 4.8 – Roda codificadora maquinada. 72

Figura 4.9 – Esquema eletrónico do sensor de posição da cambota à esquerda, barramento do circuito do sensor de posição de cambota à direita. 73

Figura 4.10 – Placa de fixação com os sensores de posição de cambota. 73

Figura 4.11 – Controlador Motec PLM e sensor lambda Bosch LSU4 (Tech Edge 2013).....74

Figura 4.12 – Ficha modificada de ligação ao controlador Motec PLM.....74

Figura 4.13 – *Layout* da placa V3.0 (Bruce Bowling, MegaSquirtII - Assembling Your MegaSquirt V3.0 Main Board 2013) 75

Figura 4.14 – Placa V3.0 alterada, vista superior 76

Figura 4.15 - Placa V3.0 alterada, vista inferior 76

Figura 4.16 – *Layout* com as saídas de controlo para a ignição, *Spark A, Spark B* e *Spark C* (James Murray, Megasquirt (V3.0 board) - Spark/ignition output 2013) 77

Figura 4.17 – Placa V3.0 com os IGBT's de controlo das bobinas fixados.....78

Figura 4.18 – Instalação das resistências de controlo dos IGBT's na *Proto Area* 79

Figura 4.19 – Placa V3.0 IGBT's para a ignição COP e ficha de ligação às bobinas 79

Figura 4.20 – Esquema da cablagem MegaSquirtII 80

Figura 4.21 – Suporte de fusíveis 81

Figura 4.22 – Suporte de relé.....81

Figura 4.23 – Ficha do sensor de posição de cambota 81

Figura 5.1 – Cablagem original necessárias ao funcionamento do motor BMW K75 83

Figura 5.2 – Motor BMW K75 com o sistema de gestão instalado 84

Figura 5.3 – KAL-D R/T 85

Figura 5.4 – Esquema de ligação KAL-D R/T 85

Figura 5.5 – Mostrador de temperatura Digitron 8000K 86

Figura 5.6 – Equipamentos de monitorização instalados 86

Figura 5.7 – Instalação do sensor lambda 87

Figura 5.8 – Diagrama do procedimento de arranque do motor BMW K75 88

Figura 5.9 – Relé com contato danificado. 89

Figura 5.10 – Ferrugem proveniente do depósito de combustível 90

Figura 5.11 – Unidade de controlo de injeção com conector fixado com fita-cola americana 91

Figura 5.12 – Teste do injetor BMW K75 91

Figura 5.13 – Reparação da cablagem do sensor de posição de cambota 92

Figura 5.14 – Ilustração do processo de verificação de funcionamento do sensor de *Hall* 93

Figura 5.15 – Fixação do "novo" sensor de *Hall* no sensor de posição de cambota 93

Figura 5.16 – Sistema de aquisição de dados antigo 95

Figura 5.17 – Valores obtidos com o sistema de aquisição antigo no motor Yanmar 96

Figura 5.18 – Tensão de saída K3HB-C com a variação da velocidade de rotação do freio hidráulico 98

Figura 5.19 – INA125p 98

Figura 5.20 – Curva característica termopar tipo K adaptado de (Maxim Integrated 2011) ... 99

Figura 5.21 – Esquema de ligação ao sensor de posição do acelerador 100

Figura 5.22 – Controlador Motec PLM e cabo para leitura do sinal gerado pelo controlador 100

Figura 5.23 – Caudalímetro BMW K75 101

Figura 5.24 – Diagrama do novo sistema de aquisição de dados 102

Figura 5.25 – Módulo de quatro canais para termopares tipo K MAX31857 103

Figura 5.26 – Condicionamento do tacómetro K3HB-C 104

Figura 5.27 – Condicionamento do sinal da célula de carga 105

Figura 5.28 – Condicionamento do sinal do potenciómetro da comporta 107

Figura 5.29 – Condicionamento do sinal do sinal do termístor 107

Figura 5.30 – Protótipo do *hardware* do sistema de aquisição.....109

Figura 5.31 – Diagrama de fluxo algoritmo de leitura. 111

Figura 5.32 – Exemplo de *Output* de dados 113

Figura 5.33 – Power Logger UI 114

Figura 5.34 – Caixa do sistema de aquisição 115

Figura 5.35 – Electrónica do sistema de aquisição.....116

Figura 5.36 – Freio desacoplado do Motor BMW K75 117

Figura 5.37 – Parafusos de fixação da geometria do freio hidráulico 117

Figura 5.38 – Comparação entre um dos casquilhos torneados em *teflon* e um dos casquilhos originais 117

Figura 5.39 – Torneamento dos casquilhos 118

Figura 5.40 – Casquilho de *teflon após o teste do freio*.....118

Figura 5.41 – Casquilhos torneados em *nylon* grafitado 118

Figura 5.42 – Freio hidráulico com o pino de pivotagem, respectivo casquilho e barramento do mesmo assinalado.....119

Figura 5.43 – Rótula fraturada.....119

Figura 5.44 – Parafusos de fixação da célula de carga fraturados e deformados.....119

Figura 5.45 – Tentativa de reparação da rótula.....120

Figura 5.46 – Célula de carga com as rótulas instaladas e roscas de reforço 120

Figura 5.47 – Esquema lógico da *interface* de sensores e actuadores com o sistema de gestão L-Jetronic.....121

Figura 5.48 – TPS BMW K75, A - Interruptor lógico de ralenti; B – Interruptor *Full-throttle*..122

Figura 5.49 – Gráfico de tensão produzida pelos sensores do caudalímetro 123

Figura 5.50 – *Logic Analyzer Saleae*.....123

Figura 5.51 – Componentes do sensor de posição de cambota original BMW K75, A – Sensores de *Hall*; B – Campânula de codificação do sinal; 124

Figura 5.52 – Esquema de ligação do *Logic Analyzer* ao sensor de posição de cambota.....124

Figura 5.53 – Sensor de posição de cambota original BMW K75 e com os sinais os sensores e saídas dos sinais indicados. 124

Figura 5.54 – Sinal digital do sensor de posição de cambota BMW K75 125

Figura 5.55 – Sequencia dos impulsos gerados pelo sensor de posição de cambota durante uma rotação 125

Figura 5.56 – Esquema de ligações do Arduino Uno ao módulo do controlo de ignição do BMW K75 126

Figura 5.57 – Diagrama do código de programação para simulação de rotação 127

Figura 5.58 – Sensor de temperatura do líquido de arrefecimento com os pinos identificados 128

Figura 5.59 – Circuito simulador do sensor de temperatura do líquido de arrefecimento do motor 129

Figura 5.60 – Esquema de ligações do sinal proveniente da unidade de controlo L-Jetronic ao *Logic Analyzer* 130

Figura 5.61 – Pulso de injeção invertido 131

Figura 5.62 – Mapa de duração de injeção em função da temperatura 131

Figura 6.1 – Instalação da cablagem MegaSquirtII 133

Figura 6.2 – Configurações do novo projeto MegaSquirtII 134

Figura 6.3 – Constantes do motor 135

Figura 6.4 – Parâmetros de Injeção 136

Figura 6.5 – Janela “More Engine Constants” 136

Figura 6.6 – Janela “Injector Characteristics” 137

Figura 6.7 – Janela “Ignition Options” 138

Figura 6.8 – Janela “Trigger Wheel Settings” 139

Figura 6.9 – Ferramenta de calibração do TPS 140

Figura 6.10 – Calibração do sensor de temperatura do líquido de arrefecimento 141

Figura 6.11 – Calibração IAT 143

Figura 6.12 – Pistola de ponto CZ sincro 144

Figura 6.13 – Marcações de ajuste do avanço de ignição 145

Figura 6.14 – Ajustes de ignição.....145

Figura 6.15 – Mapa da eficiência volumétrica.....147

Figura 7.1 – Circuito de condicionamento da placa V3.0 referente ao sensor de posição da cambota adaptado de (Philip Ringwood, MS1-Extra Ignition Hardware manual 17).....150

Figura 7.2 – Alteração na placa V3.0, *jumper* assinalado.....150

Figura 7.3 – Roda codificadora revestida a tinta preta.....150

Figura 7.4 – Novo sensor de posição da cambota.....151

Figura 7.5 – Esquema do circuito para determinação da resistência limitadora de corrente dos emissores infravermelhos.....152

Figura 7.6 – Esquema eletrónico da nova placa do sensor de posição da cambota.....152

Figura 7.7 – *Drivers* VB921 danificados.....153

Figura 7.8 – IGBT IRGB14C40LPbF.....154

Figura 7.9 – IGBT's instalados na face exterior da caixa do sistema de gestão MegaSquirtII V3.0.....155

Figura 7.10 – Novo sensor IAT instalado.....155

Figura 8.1 – Sinal das bobinas e sinais do sensor de posição de cambota.....158

Figura A.0.1 – Esquema elétrico BMW K75.....169

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Sistemas de injeção EFI e diferenças entre os mesmos, adaptado de (Charles O. Probst 1989) 21

Tabela 2.2 – Comparação entre motores de injeção indireta e motores com injeção direta com sistemas Motronic, adaptado de (Özdalyan s.d.) 57

Tabela 3.1 - Características do motor BMW K75.(Adaptado de (Hawksley 2013)) 64

Tabela 5.1 – Valores de tensão registados no pino 1 do sensor de temperatura do líquido de arrefecimento em função da temperatura 128

Tabela 6.1 – Termístor Bosch 0280130032 de (Volvo Car Corporation 1988) 142

Tabela 6.2 – Valores registados do sensor IAT 143

GLOSSÁRIO DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Símbolos Romanos	Definição	Unidade
A	Área	m^2
AFR	Relação estequiométrica ar/combustível	(-)
D	Diâmetro	m
g	Aceleração da gravidade	m/s^2
m	Massa	kg
p	Pressão estática	Pa
t	Tempo	s
U	Velocidade de escoamento	m/s
V	Volume	m^3
R	Resistência elétrica	Ω
V	Tensão elétrica	V
I	Corrente elétrica	A
f	Frequência	*Hz*

Símbolos Gregos	Definição	Unidade
λ	Coeficiente de excesso de ar	(-)
ρ	Massa volúmica	kg/m^3
ϕ	Razão de equivalência	(-)
α	Coeficiente de temperatura	$^oC^{-1}$

Abreviaturas

I/O	Entradas e saídas
IGBT	*Insulated-gate bipolar transistor*
DEM	Departamento de Engenharia Mecânica
COP	*Coil On Plug*
PATA	*Parallel Attachement*
ADC	Analog to digital converter
UI	*User Interface*
PWM	*Pulse Width Modulation*

UART	*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*
TWI	*Two Wired Interface*
SPI	*Serial Peripheral Interface*
USB	*Universal Serial Bus*
EGT	*Eghaust Gas Temperature*
ASCII	*American Standard Code for Information Interchange*
PMI	Ponto Morto Inferior
PMS	Ponto Morto Superior
CIS	*Continuous Injection System*
EFI	*Eletronic Fuel Injection*
I&D	Investigação e Desenvolvimento
VAF	*Vane Air Flow*
MAF	*Mass Air Flow*
IAT	*Intake Air Temperature*
MAP	*Manifold Absolute Pressure*
TPS	*Throttle Position Sensor*
OBD	*On-board Diagnóstics*
MPI	*Multi Point Injection*
SPI	*Single Point Injection*
ECU	*Electronic Control Unit*
ICU	*Ignition Control Unit*
NTC	*Negative Temperature Coefficient*
DC	*Direct Current*
CPU	*Central Processing Unit*
CAN	*Controller Area Network*
VE	*Volumetric Efficiency*

1 INTRODUÇÃO

Dado que os recursos energéticos não renováveis de hoje em dia são cada vez mais caros, existe uma constante procura de recursos e técnicas de forma a reduzi-lo. Sendo o automóvel responsável por uma parte significativa das emissões gases que contribuem para o efeito de gases de estufa, a tecnologia automóvel tem vindo a ser fortemente desenvolvida no que diz respeito à gestão do motor. Desde a implementação de sistemas de gestão eletrónicos os motores de combustão interna de ignição vêm cada vez a ser mais eficientes e menos poluentes. Ao longo da última década a utilização os automóveis elétricos e híbridos tem vindo a ser desenvolvidos, e atualmente é comum encontrar este tipo de veículos gamas de várias marcas automóveis pela sua potencialidade e devidas as mais baixas emissões que os comuns automóveis de combustão interna de ignição comandam. Sendo o principal entrave aos veículos elétricos a autonomia limitada o conceito de range extender (um motor de combustão que atua como gerador dentro do automóvel para estender a autonomia das baterias) apresenta-se como uma solução viável à resolução deste problema.

1.1 MOTIVAÇÃO

A utilização de eletrónica associada a motores de combustão tem vindo a ser desenvolvida de modo a efetuar um controlo mais rigoroso deste. Os avanços da tecnologia na eletrónica digital possibilitam este controlo permitindo atingir prestações mais elevadas em motores de combustão interna, através de actuadores mais precisos e sensores com uma maior sensibilidade. A implementação destes componentes em sistemas de gestão de motores possibilita não só o controlo com mais eficiência, como fornece meios de diagnóstico e controlo adaptativo, aumentando a longevidade dos motores e reduzindo as emissões de gases poluentes.

1.2 OBJETIVOS

Desta forma como objectivo final pretende-se implementar um sistema de gestão eletrónica no motor BMW K75 futuramente transformado do ciclo *Otto* para *Miller* de maneira a adapta-lo como *range extender* num veículo elétrico. Esta adaptação tem como finalidade aumentar a autonomia de um veículo elétrico visto que atualmente a sua fonte de energia principal (baterias) são limitadas na sua capacidade.

Assim como objetivos definidos para este trabalho temos:

- A montagem do sistema de controlo original BMW K75.
- Verificação do estado atual do equipamento de controlo eletrónico do sistema de controlo original BMW K75.
- Estudo do sistema e da sua aplicabilidade na adaptação no novo sistema de controlo eletrónico.
- Escolha do *hardware* necessário para o novo sistema de controlo.
- Configuração e definição dos parâmetros do novo sistema de controlo.
- Testes de funcionamento e correção de parâmetros.

Como descrito anteriormente, este trabalho é relevante no sentido em que o controlo eletrónico adequado para um motor sobre expandido – ciclo *Miller*, resulta num maximizar a sua eficiência dado que os sistemas eletrónicos de gestão de motores possuem uma flexibilidade em termos de ajustes e configurações. Uma vez tendo estas duas vantagens é possível então determinar, com base em testes de funcionamento, qual a configuração/afinação que vai ao encontro do objetivo final.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo faz-se a revisão bibliográfica o estado da arte sobre motores de combustão interna. Nomeadamente o seu princípio de funcionamento, os fenómenos envolvidos e dos vários componentes envolvidos em cada sistema de gestão de um motor de combustão interna, sejam eles mecânicos ou eletrónicos. Apresentam-se também a análise e comparação de cada um descrevendo vantagens e desvantagens dos sistemas descritos.

2.1 HISTÓRIA DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Desde o início da humanidade que o homem procura incansavelmente evoluir com eficiência. Como exemplo temos a roda que embora inventada à cerca de 6 milénios continua a ser usada atualmente nas mais vastas aplicações, sendo esta um componente chave em maioria das máquinas que realiza trabalho mecânico.

Com o decorrer do tempo o homem utilizou mais e melhor as suas invenções modificando profundamente a forma como nos transportamos e trabalhamos atualmente. Por exemplo, numa viagem Porto-Lisboa demoramos cerca de 4 horas com um custo de aproximadamente 60€ (Viamichelin s.d.), a qual podemos realizar sem paragens mesmo estando a chover ou não, algo que à 100 anos atrás era impossível fazer com o mesmo custo e no mesmo tempo útil. Assim podemos concluir que o homem não só melhora em termos de eficiência e capacidade como também torna possível com mais fiabilidade, comodidade e sem faltar a segurança. Isto tudo para dizer que a evolução nunca vem só, as vias de comunicação constituem num fator importante entre outros.

2.1.1 A Invenção do Motor de Combustão Interna

A invenção do motor de combustão interna na história precede do convencional motor a vapor. Na época, século XIX, o motor a vapor requeria uma caldeira a água no estado líquido era transformada em vapor através da queima de matéria como por exemplo carvão. O vapor sob pressão era introduzido por uma válvula deslizante comandada por uma roda que por sua vez também ligada ao pistão através de um sistema biela-manivela. O alternar de diferenças de pressões dentro da câmara fazia com que o pistão fosse empurrado alternadamente, visto que a

válvula alternava a saída do vapor sob pressão do lado oposto para a atmosfera como demonstrado na Figura 2.1.

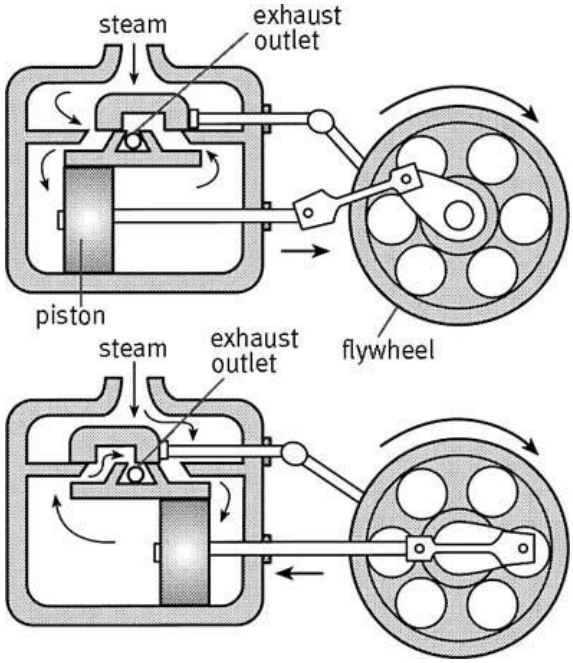


Figura 2.1 - Motor a vapor (Yourdictionary s.d.).

Em meados do século XIX, estes motores eram largamente utilizados inicialmente em sistemas de bombagem de água em minas e mais tarde em fábricas como fonte de energia mecânica e elétrica, em navios com sistema auxiliar às velas, em locomotivas e em tratores para a agricultura. Mais tarde apareceu a turbina a vapor, inventado por Charles Parsons e Carl Laval. O novo sistema sem pistões era mais compacto utilizado na época maioritariamente em navios de grande porte e atualmente é utilizado na produção de energia elétrica.

Somente no início do século XX com o implementar do motor de arranque elétrico é que os motores de combustão interna se tornaram mais populares devido à sua conveniência de arranque simples. O motor de arranque elétrico tirou trabalho ao condutor uma vez que anteriormente era necessário que o condutor utilizasse uma manivela arrancar o motor. (History of Engines s.d.)

2.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE UM MOTOR

O motor de combustão interna é uma máquina térmica na medida em que transforma energia térmica em energia mecânica.

A energia térmica provém da queima (combustão) de uma mistura combustível-comburente (o ar é o comburente) libertando-se deste modo a energia química do combustível.

A energia térmica libertada pela queima do combustível é transferida ao fluido motor que, por sua vez, a transmite ciclicamente aos órgãos mecânicos do motor.

Nas máquinas alternativas o fluido motor trabalha dentro de um cilindro de volume variável e transmite a sua energia à parede móvel desse cilindro, que é êmbolo, cujo movimento de vaivém impulsiona o veio motor através do mecanismo biela - manivela.

Resumindo, o motor de combustão interna é, no caso em questão, uma máquina térmica volumétrica alternativa que vulgarmente designamos por motor a pistão. (Oliveira s.d.)

Descrita acima a definição de motor de combustão interna podemos classifica-los quanto a:

- ciclo de operação;
- colocação ou desenho das válvulas;
- combustível usado;
- método de carga;
- tipo de injeção;
- preparação da mistura;
- tipo de ignição;
- arrefecimento;
- geometria dos cilindros.

Adaptado de (Martins 2013).

Uma vez descritas as classificações dos motores, é descrito em seguida o funcionamento do motor utilizado mais comum - motor 4 tempos, ciclo *Otto*.

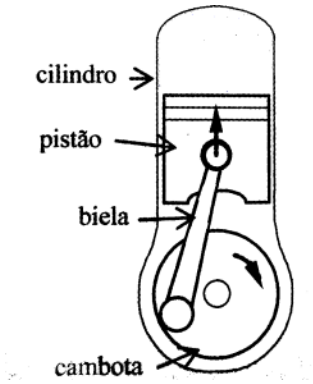


Figura 2.2 – Sistema biela-manivela, reproduzido de (Martins 2013).

A Figura 2.2 ilustra o sistema biela-manivela utilizado nos motores 4 tempos.

À medida que a cambota gira o pistão comprime o ar, não esquecendo que no topo do cilindro existem válvulas de admissão e escape, que retêm o ar juntamente com o comburente. Assim a cambota funciona como um contrapeso de modo a estabilizar de certa forma o andamento do motor, e que o pistão não pare durante a fase de compressão. Ainda a cada rotação da cambota podemos definir dois pontos críticos do sistema, sendo eles:

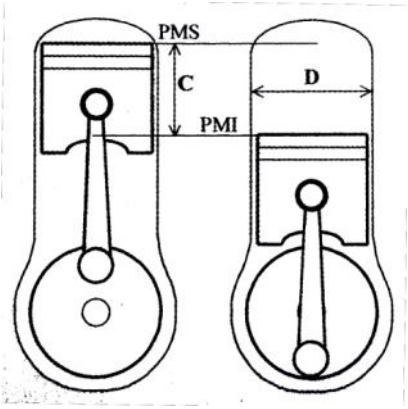


Figura 2.3 – Pontos mortos do motor, reproduzido de (Martins 2013)

- PMS – ponto morto superior;
- PMI – ponto morto inferior;

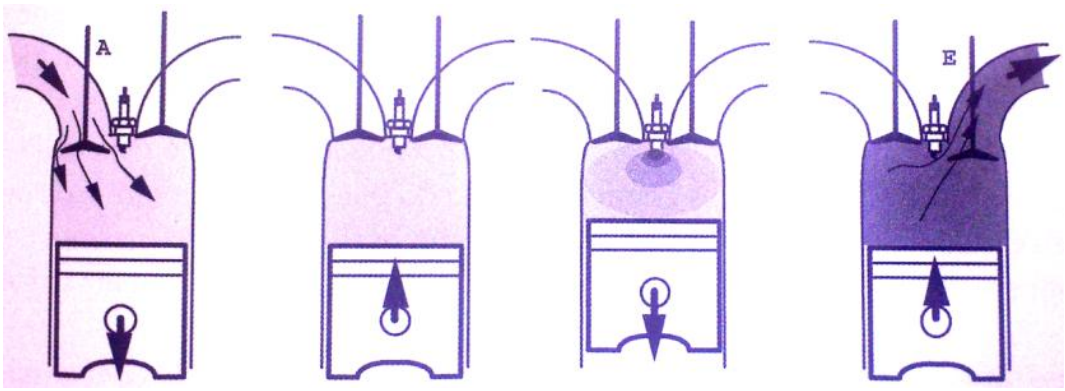
Podemos ver as duas situações ilustradas na Figura 2.1, na qual se identifica ainda, representado pela letra C – curso e D – o diâmetro (Adaptado de (Martins 2013)).

Uma outra característica importante nos motores é a cilindrada. A cilindrada corresponde ao volume total varrido por um pistão. No caso de o motor ter n pistões com a mesma cilindrada, o volume total varrido é o somatório de todos. Assim a cilindrada pode ser dada pela seguinte fórmula:

$$V_{total} = n.V_{cilindro}$$

Uma vez vistos os componentes do sistema biela-manivela e das características principais deste motor podemos passar à explicação dos quatro tempo de um motor de ignição comandada – ciclo *Otto* a 4 tempos. O termo ignição comandada significa que a combustão dentro do cilindro

é iniciada por meio de uma faísca de alta tensão, na ordem dos 7kV, através de um componente denominado vela de ignição. Este processo de ignição assim como os componentes necessários para tal efeito serão descritos com mais pormenor num capítulo mais à frente. Passando à descrição dos 4 tempos referidos anteriormente o funcionamento do motor será descrito com base na Figura 2.4.



a) Admissão b) Compressão c) Explosão-Expansão d) Escape

Figura 2.4 – Os 4 tempos do motor de ignição comandada (reproduzido de (Martins 2013))

O tempo de admissão (Fig. 2.4-a) ocorre enquanto o pistão se desloca para o PMI, ao mesmo tempo que a válvula de admissão se encontra aberta. A válvula de admissão abre ligeiramente antes e fecha um pouco depois do tempo de admissão, de modo a aproveitar os efeitos de sintonia e inerciais dos gases de escape e de admissão. Por sua vez, o tempo de compressão (Fig. 2.4-b) inicia-se logo após o tempo de admissão, sendo realizado com ambas as válvulas (escape e admissão) fechadas durante a deslocação do pistão para o PMS. É durante este tempo que se dá a mistura e aumento de pressão para favorecer a explosão da mistura. Após a explosão da mistura (Fig. 2.4-c) o pistão desloca-se para o PMI devido às elevadas pressões daí resultantes. Este tempo é também designado por tempo motor, pois é o unico tempo em que é transmitido movimento á cambota. Finalmente dá-se o tempo de escape (Fig. 2.4-d), responsável pela expulsão dos gases resultantes da combustão da mistura, a qual ocorre durante o deslocamento do pistão para o PMS, enquanto a válvula de escape se encontra aberta.

2.3 PREPARAÇÃO DA MISTURA

A preparação da mistura nos motores de ignição comandada é essencial para o bom funcionamento do motor, de modo a obter o máximo rendimento garantindo que todo o comburente é completamente consumido pela explosão.

Antes de descrever os tipos de sistemas de preparação de mistura é necessário saber alguns aspetos importantes sobre a queima de combustível. Hoje em dia os combustíveis mais usados em motores de combustão interna comandada são, gasolina 95, gasolina 98 e GPL – Gás liquefeito de petróleo.

Entre os diferentes combustíveis existe uma propriedade denominada relação ar-combustível estequiométrica – A/F_{est}. Esta relação define a quantidade de ar para uma outra de combustível de um modo ideal. Isto significa que para uma dada quantidade de ar existe uma porção de combustível ideal (estequiometria) para que ambas as partes sejam consumidas por completo aquando a combustão.

Outra propriedade é o fator de excesso de ar (λ - Lambda). Este fator expõe a mesma relação da propriedade referida acima relacionando o AFR – *Air Fuel Ratio* de uma dada mistura com o A/F_{est}. O valor $\lambda=1$ significa estequiometria entre os elementos ar e combustível. Esta propriedade é dada por:

$$\lambda = \frac{AFR}{AFR_{estequiométrica}}$$

Ainda os termos mistura rica e mistura pobre designa a relação entre os elementos da mistura. Quando se fala em mistura pobre significa que existe pouco combustível para a quantidade de ar admitida, assim sendo temos um AFR>14.7 ou $\lambda>1$, no caso da gasolina de índice octano de 98. Caso contrário temos uma mistura rica que especifica um AFR<14.7 ou $\lambda<1$ com o mesmo tipo de combustível referido acima (Adaptado de (Charles O. Probst 1989)).

Na Figura 2.5 pode-se observar os efeitos em termos de consumo e potência com ligeiras variações do AFR a partir da estequiometria. Através da Figura 2.5 verifica-se que com a mistura relativamente rica com um AFR=12.6:1 obtém-se a potência máxima e com a mistura

ligeiramente pobre com um AFR=15.4:1 consegue-se melhores consumos em troca de alguma potência. Esta consequência varia de motor para motor em função do AFR.

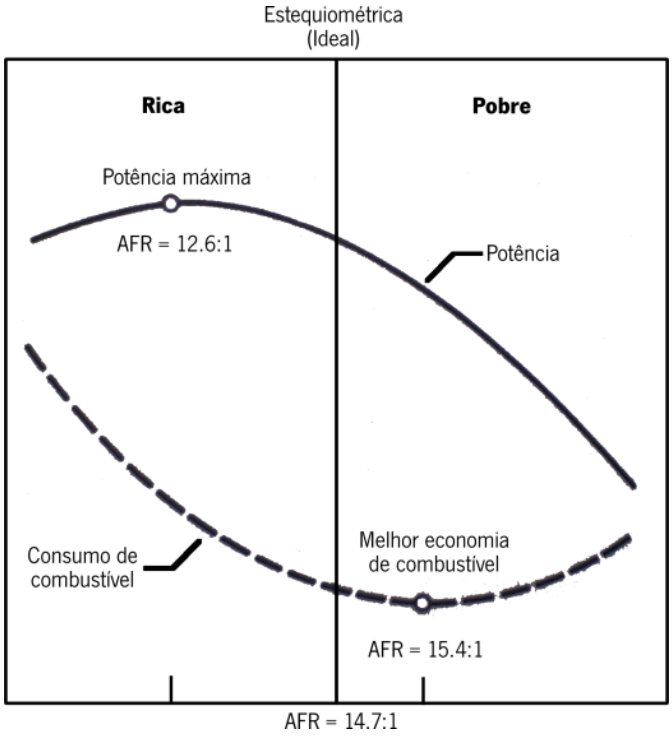


Figura 2.5 – AFR em função de potência e consumo adaptado de (Charles O. Probst 1989)

O AFR pode e deve ser afinado nos sistemas de distribuição de modo a que o catalisador funcione com eficiência máxima. A afinação deste parâmetro começou a ter importância para diminuição de emissões de gases poluentes o ambiente, notados visualmente, Figura 2.6, na década de 70.

Nesta década como sistema de preparação de mistura, eram usados carburadores, que por norma eram afinados para alimentar o motor com excesso de combustível. A mistura rica era necessária pois os sistemas naquela época eram menos precisos devido à utilização de um carburador para vários cilindros e era espectável algumas variações do próprio carburador. Uma das vantagens era que a potência dos motores era minimamente afetada.

Figura 2.6 – Smog em Los Angeles (KCET 2012)

2.3.1 Preparação da Mistura por Carburador

O sistema de preparação de mistura por carburador foi o primeiro sistema usado como sistema de doseamento de combustível em motores de combustão interna de ignição comandada.

Como anteriormente já descrito, este apresentava algumas inconevniencias na gestão da mistura. Na Figura 2.1 está ilustrado o modo de funcionamento de um carburador. Ainda este é responsável por vaporizar o combustível que se mistura com o ar produzindo a mistura.

O carburador está dotado de uma câmara ou recipiente de combustível onde armazena a quantidade de combustível que é posteriormente pulverizada. Esta câmara está exposta à pressão atmosférica. Á medida que o ar entra na admissão e se direciona para a câmara de combustão, passa pelo carburador, sendo criado o efeito de *Venturi*, o que provoca uma redução de pressão, a qual promove a mistura do ar com o combustível. De modo a controlar o caudal por onde é aspirada a gasolina existe o pulverizador principal ou o *gicleur* que, nalguns casos poderão ser o mesmo componente. Outro componente importante é a borboleta, a qual limita a quantidade de ar aspirada para a câmara de combustão. De modo a regular o nível de combustível na cuba, existe dentro desta uma boia que limita a quantidade máxima de combustível através obstrução do canal de fornecimento. Adaptado de (Charles O. Probst 1989)

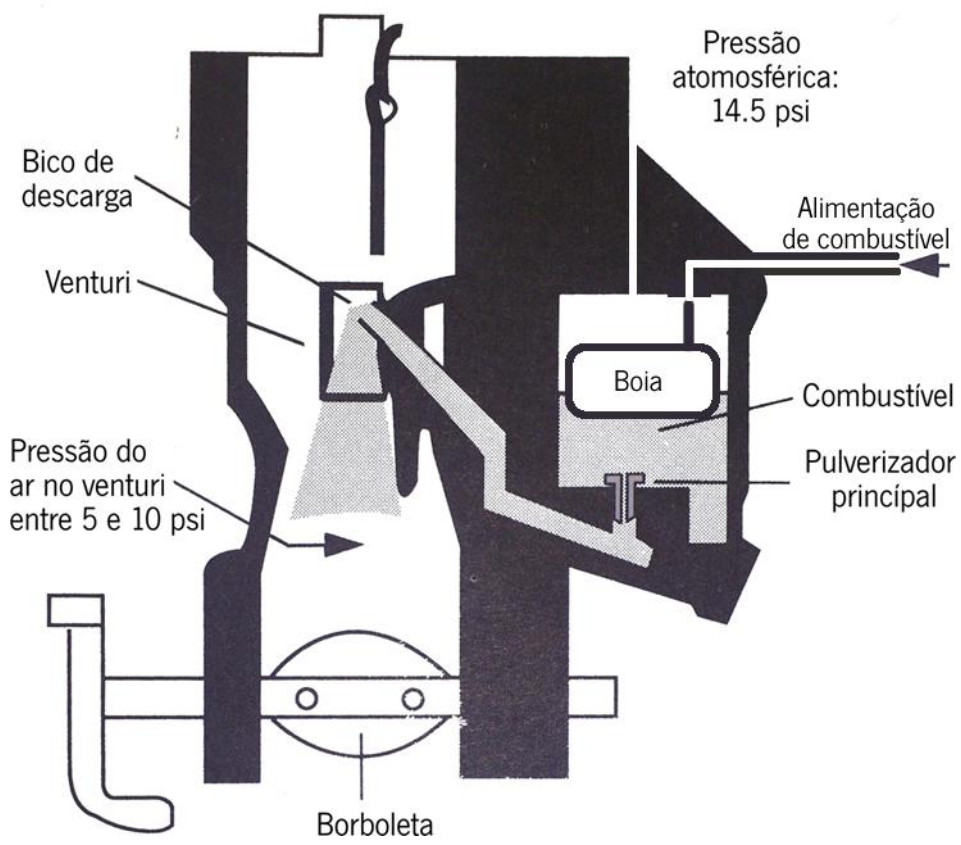


Figura 2.7 – Modo de funcionamento do carburador adaptado de (Charles O. Probst 1989)

"*O caudal de gasolina depende da queda de pressão do ar no "venturi" mas aumentada mais rapidamente do que este último, originando misturas ricas com o aumento do caudal de ar. Como se pode depreender, não se consegue, com um carburador elementar, produzir uma mistura constante, além de que, para diferentes condições de funcionamento, o motor poderá necessitar de diferentes valores de riqueza de mistura."* (Martins 2013)

Assim pode-se definir cinco estados de funcionamento do motor que requerem diferentes tipos de mistura. Sendo eles:

1. Com o motor em frio é necessário fornecer mais gasolina visto que existe dificuldade de vaporização do combustível.

2. Ao "ralenti", de modo a proporcionar o funcionamento do motor e reposta do acelerador a mistura é mantida relativamente rica. Uma válvula denominada

"choke" ou mais corriqueiramente "Ar" compensa a quantidade de ar necessária à mistura mais rica.

3. Em aceleração, mistura rica, a rápida abertura da borboleta faz com que haja um aumento de ar a entrar no motor. É utilizada a bomba de aceleração para injetar uma quantidade suplementar de combustível sempre que existe um aumento substancial do fluxo do ar. Ainda a mistura rica durante aceleração diminui a probabilidade de ocorrência de *knock*, uma vez que a gasolina em excesso não vaporizada vai reduzir a temperatura da mistura dentro do cilindro.

4. E velocidade constante não máxima, a mistura tende a ser pobre de modo a garantir que todo o combustível é consumido na câmara de combustão.

5. Em desaceleração, idealmente os sistemas deveriam interromper a mistura deixando apenas o ar entrar para o cilindro. Adaptado de (Charles O. Probst 1989) e (Martins 2013)

2.3.2 Preparação de Mistura por Injeção

Em 1955, em procura de mais potência, a Mercedes-Benz desenvolveu um sistema de injeção direta para o Mercedes-Benz SL300 (Figura 2.8).

Este sistema era complexo e caro comparativamente ao sistema por carburador, e apenas a Mercedes-Benz e microcarros alemães a 2 tempos o usavam. Contudo este sistema trazia melhorias significativas como mencionado anteriormente e mais tarde deu origem à injeção indireta que irá ser descrita em seguida.

Em 1967 começaram a aparecer os primeiros sistemas Bosch de injeção indireta. Com alguns aspetos ligeiramente diferentes da injeção direta, esta tal como a injeção direta resolvia alguns dos problemas do carburador e a trazia melhorias a nível de desempenho. Sendo elas:

- Redução da variação AFR;

- Maior controlo sobre os diferentes requisitos de mistura reactivamente aos cinco estados do motor;

- Evita o parar do motor causado pelo agitar do combustível dentro da cuba em carburadores durante o curvar;
- Elimina o *dieseling* - situação em que o motor continua a funcionar durante um curto período de tempo mesmo após o desligar da ignição;
- Redução de consumo de combustível.

Adaptado de (Charles O. Probst 1989)

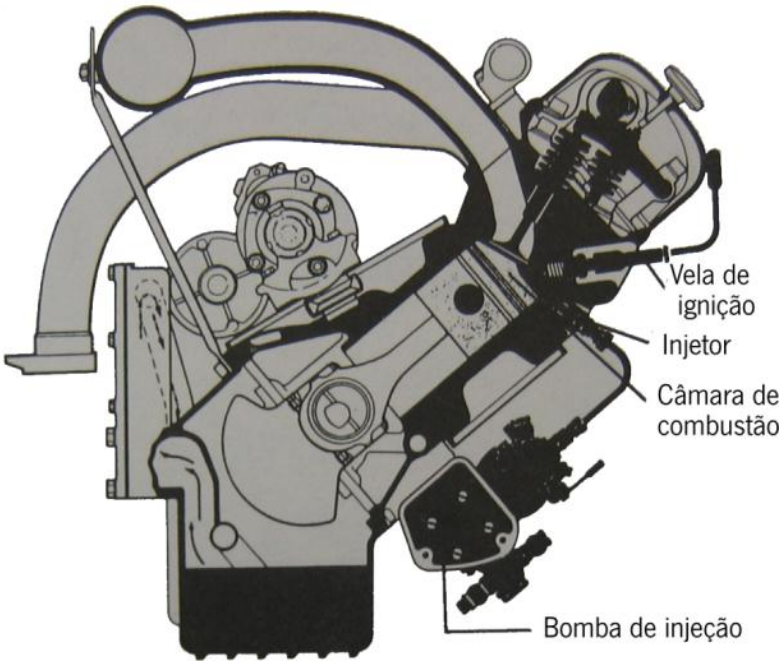


Figura 2.8 – Motor Mercedes-Benz SL300 de 1955, com sistema de injeção direta Bosch adaptado de (Charles O. Probst 1989)

Nos sistemas de injeção indireta, caracterizados pela posição do injetor anteriormente à válvula, podemos ter várias configurações. Na Os métodos de medição de ar do ponto 3 são completos através de um sensor adicional de temperatura do ar de admissão – IAT.

podemos ver a evolução dos sistemas de injeção Bosch até ao ano de 1987. Estes sistemas pode ser classificador relativamente ao:

1. Controlo de fluxo de combustível:
    - CIS – Injeção contínua;

- EFI – Injeção pulsada por meio de atuadores eletromecânicos;

2. Configuração dos injetores:
    - *Throtle Body* - SPI.
    - *Port injection* – MPI.
3. Método de medição de ar:
    - Por comporta - VAF;
    - Por fio quente - MAF;
    - Por pressão - MAP;
4. Controlo de correção de mistura:
    - Sem sensor Lambda o ajuste da mistura é baseado nos sensores ou atuadores de entrada;
    - Com sensor Lambda através fazendo correções de mistura em malha fechada através do sensor lambda;
5. Controlo de ignição se eletrónico:
    - Com controlo de ignição incorporado na ECU;
    - Sem controlo de ignição incorporado na ECU. Era necessário um módulo de ignição – ICU.

Os métodos de medição de ar do ponto 3 são completos através de um sensor adicional de temperatura do ar de admissão – IAT.

2.3.2.1 CIS – Sistema de Injeção Contínua K-Jetronic

O sistema Bosch de injeção continua – CIS denominado K-Jetronic (K de *kontinuerlich* do alemão, continuo e Jetronic devido ao sistema de mistura por injeção) um dos primeiros a ser implementado em motores de ignição comandada como descrito anteriormente. O método de

medição de ar era por meio de uma comporta circular no canal de admissão. Na Figura 2.9 podemos ver a configuração sistema K-Jetronic assim como os seus componentes.

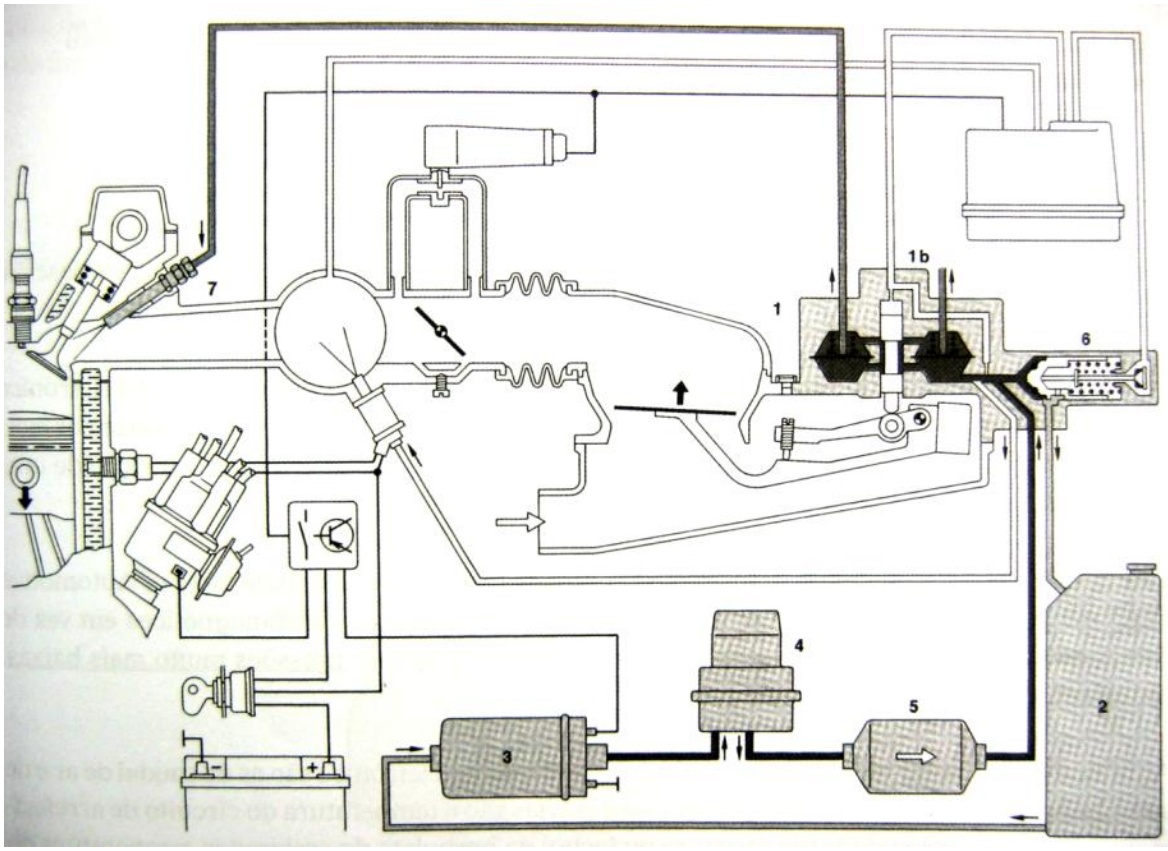


Figura 2.9 – Sistema K-jetronic da Bosch reproduzido de (Martins 2013)

Da Figura 2.9 podem-se identificar os seguintes componentes:

1. Unidade de controlo da mistura – componente responsável pelo doseamento de combustível para cada injetor de acordo com a comporta;

1.b Distribuidor de combustível – responsável pela distribuição do combustível para os injetores;

2. Depósito de combustível;

3. Bomba elétrica de combustível – responsável por gerar pressão no circuito de combustível a montante desta;

4. Acumulador de combustível – tem a função de absorver os picos de pressão gerados

pela bomba de combustível, protege o distribuidor de combustível durante o arranque do sistema do rápido acumular de pressão gerado pela bomba de combustível

5. Filtro de combustível – impede que detritos no combustível entopem o sistema;

6. Regulador de pressão do combustível – mantém o combustível a uma pressão constante de modo a que o doseamento da quantidade de combustível dos injetores seja controlado, visto que a unidade de controlo de mistura depende da pressão do combustível;

7. Injetor – componente usado para atomizar o combustível.

Adaptado de (BOSCH 1981)

Como já descrito anteriormente este sistema de injeção é contínuo e mecânico. O doseamento de mistura é feito através de um êmbolo acionado pelo prato como ilustrado na Figura 2.9. Repara-se ainda que a ignição era efetuada por distribuidor mecânico

Este sistema por ser mecânico não permitia o controlo minucioso durantes os períodos de aquecimento e aceleração, não cumprindo assim com as restrições de emissão de gases poluentes. Também na Figura 2.9 podemos ver os componentes adicionais necessários ao enriquecimento da mistura durante o aquecimento. Sendo eles a válvula de ar auxiliar posicionada na figura acima da borboleta, o injetor de arranque a frio no canal de admissão posicionado à esquerda da borboleta, o regulador de pressão no canto superior direito e o interruptor termoelétrico roscado no bloco do motor (Martins 2013) (Charles O. Probst 1989).

Assim este sistema foi alvo de melhoramentos e surgiram os sistemas K-Jetronic com sistemas eletrónicos denominados K-Jetronic com sensor lambda e o KE-Jetronic (Charles O. Probst 1989).

2.3.2.2 K-Jetronic com Lambda

No sistema K-Jetronic com lambda, foi como o nome indica, foi implementado um sensor lambda, que permite a deteção de presença de oxigénio nos gases de escape. A partir da leitura deste, a unidade de controlo variava o tempo de abertura de uma válvula de controlo de combustível que influencia a quantidade injetada, variando a pressão nas câmaras inferiores do

distribuidor de combustível. A Figura 2.10 ilustra o sistema K-Jetronic com lambda onde estão identificados os componentes adicionais ao sistema que o diferencia do sistema tradicional K-Jetronic.

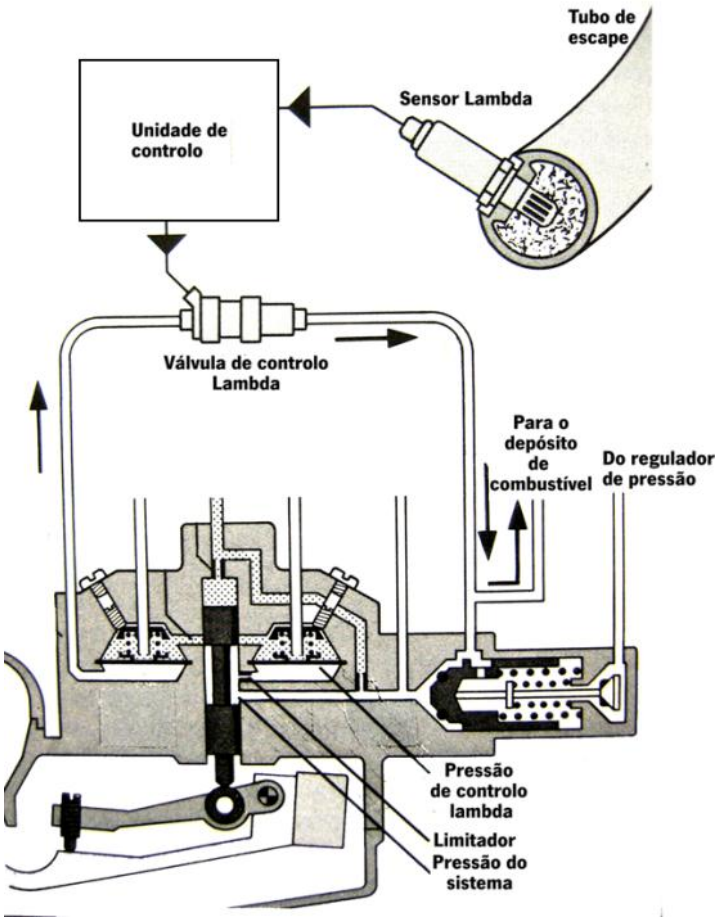


Figura 2.10 – Sistema K-Jetronic com lambda adaptado de (Charles O. Probst 1989)

Este sistema denomina-se controlo em malha fechada dado que o ajuste da quantidade de injeção vária tendo em conta o resultado da combustão.

Este ajuste contínuo faz com que este consiga atingir misturas ideais, representando assim a melhoria do sistema convencional K-Jetronic.

Contudo o sistema de correção por sensor lambda não funciona com o motor em frio, sendo necessário controlar o motor em malha aberta, até este atingir a temperatura de funcionamento necessária para o correto funcionamento do sensor lambda. Neste sistema K-Jetronic com lambda o sistema mecânico tem a vantagem de continuar a funcionar independentemente do sistema eletrónico de ajuste de mistura (Charles O. Probst 1989).

2.3.2.3 KE-Jetronic

No sistema KE-Jetronic o ajuste da mistura é efetuado através do mesmo conceito – variação da pressão nas câmaras inferiores do distribuidor de combustível. Esta variação era conseguida através de uma válvula eletromagnética (atuador de pressão), e varia em função de um potenciómetro colocado no êmbolo do sistema do sistema de distribuição de combustível. Na Figura 2.11 está ilustrado o sistema KE-Jetronic. Podemos notar que o sistema eletrónico (unidade de controlo) é mais avançado, comparativamente ao K-Jetronic com lambda. A unidade de controlo eletrónico comanda o atuador de pressão com base na informação lida por vários sensores distribuído pelo sistema. Sendo estes:

- sensor de posição de cambota;
- sensor lambda;
- sensor de temperatura do motor;
- sensor de temperatura do ar;
- sensor de posição do êmbolo;
- sensor de borboleta. Adaptado de (Charles O. Probst 1989)

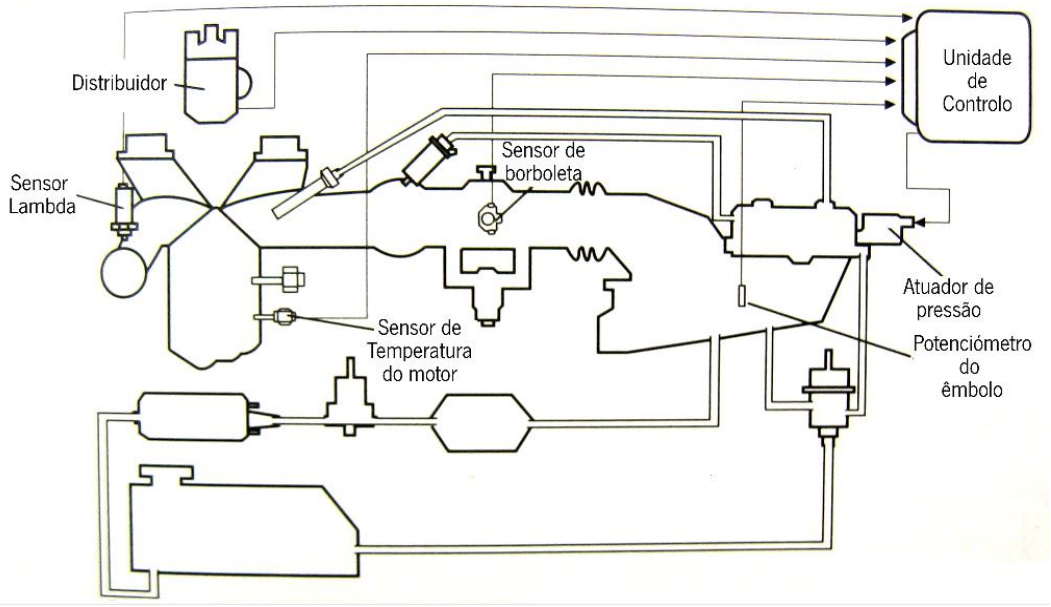


Figura 2.11 – Sistema KE-Jetronic adaptado de (Charles O. Probst 1989)

Em 1987 foram introduzidos os sistemas de terceira geração K-Jetronic denominados KE-Motronic e KE3-Jetronic. O termo Motronic foi usado para definir que o sistema de ignição eletrónico fazia parte do sistema de controlo eletrónico de injeção. Já o sistema KE3-jetronic tinha este nome porque comparativamente ao KE-Motronic, era completado com um outro módulo de controlo eletrónico de ignição – ICU (*Ignition Control Unit*). O sistema KE-Motronic tem a particularidade de ter mapas em memória para os estados de funcionamento do motor relativamente às quantidades de injeção e avanços de ignição passando a ser um sistema digital.

Na Figura 2.12 e Figura 2.13 pode-se ver as diferenças entre a configuração dos dois sistemas. Repara-se que no sistema KE3-jetronic os dois módulos de controlo utilizam sinais de sensores em comum somo o sensor da borboleta por exemplo. Ainda existe também uma interligação entre os próprios módulos fazendo todo sentido que estes estivessem num só módulo – sistema KE-Motronic, visto serem dois sistemas eletrónicos.

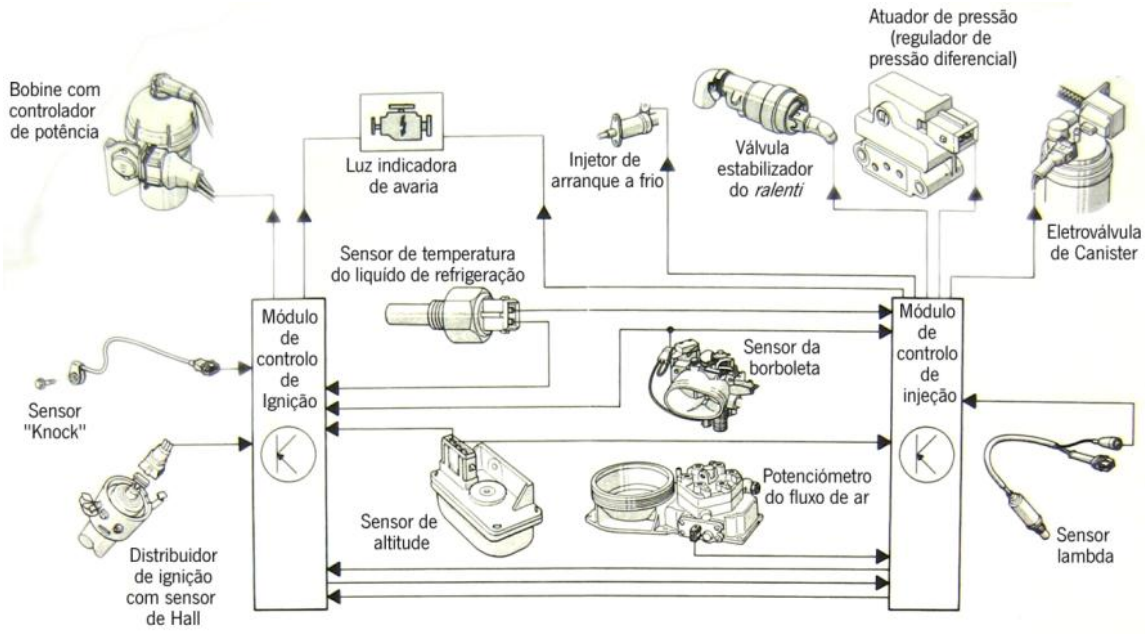

Atuador de pressão (regulador de pressão diferencial)
Bobine com controlador de potência
Luz indicadora de avaria
Injetor de arranque a frio
Válvula estabilizador do *ralenti*
Eletroválvula de Canister
Sensor de temperatura do liquído de refrigeração
Módulo de controlo de Ignição
Módulo de controlo de injeção
Sensor da borboleta
Sensor "Knock"
Potenciómetro do fluxo de ar
Sensor de altitude
Sensor lambda
Distribuidor de ignição com sensor de Hall

Figura 2.12 – Sistema KE3-jetronic com o controlo de injeção e de ignição separados, adaptado de (Charles O. Probst 1989)

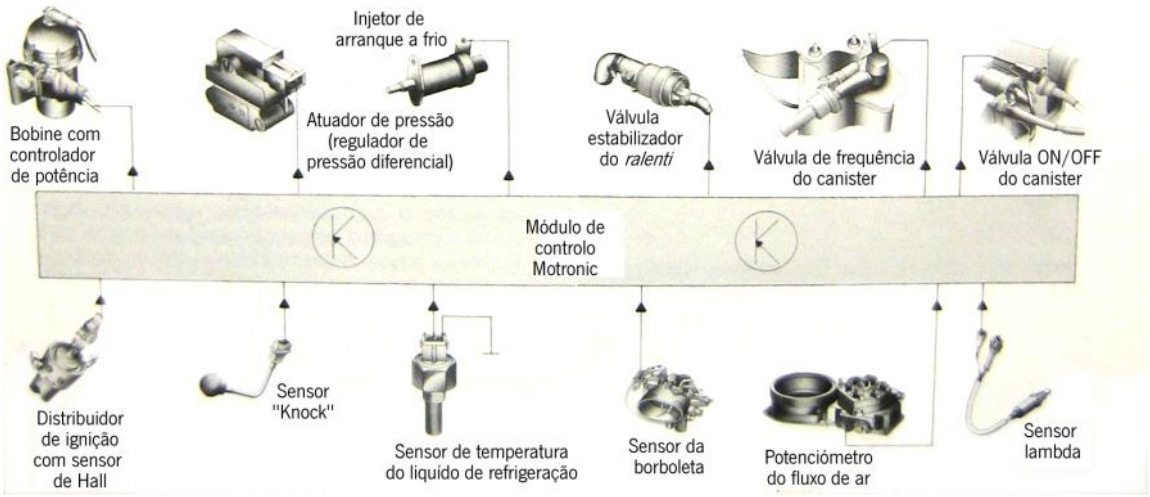

Injetor de arranque a frio
Bobine com controlador de potência
Atuador de pressão (regulador de pressão diferencial)
Válvula estabilizador do *ralenti*
Válvula de frequência do canister
Válvula ON/OFF do canister
Módulo de controlo Motronic
Distribuidor de ignição com sensor de Hall
Sensor "Knock"
Sensor de temperatura do liquido de refrigeração
Sensor da borboleta
Potenciómetro do fluxo de ar
Sensor lambda

Figura 2.13 – Sistema KE-Motronic com controlo de injeção e ignição no mesmo módulo, adaptado de (Charles O. Probst 1989)

2.3.2.4 EFI - Sistema de Injeção Pulsada

Nos sistemas EFI, a quantidade de injeção é definida pelo tempo de abertura do dos injetores a uma pressão de combustível constante. Estes injetores são componentes eletromecânicos controlados pela unidade electrónica de injeção ao contrário dos injetores no sistema K-Jetronic. O tempo de abertura ou quantidade de injeção é calculado através de parâmetros como a rotação e a quantidade de ar a partir do sistema de medição de carga do motor, posição do acelerador, temperatura do motor, etc. A Figura 2.14 ilustra o sistema L-Jetronic. Neste sistema para além dos injetores eletromecânicos nota-se:

- a tubagem de combustível comum aos injetores;
- o regulador de pressão da rampa;
- três sensores de temperatura;
- o medidor de fluxo de ar por comporta;
- o injetor e regulador auxiliar de ar para o arranque do motor a frio;
- o sensor de borboleta.

Desde o desenvolvimento do sistema D-Jetronic até à atualidade manteve-se o mesmo tipo de controlo de injeção – variação do tempo de abertura do injetor, com algumas diferenças no sistema de injeção/gestão. Estas diferenças estão descritas na Tabela 2.1. De entre os sistemas descritos na Tabela 3.1 nota-se as diferenças do sistema de medição de carga de ar, a presença do sensor lambda e a presença de controlo de ignição – sistemas Motronic. Adaptado de (Charles O. Probst 1989)

Devido às semelhanças entre sistemas apenas vão ser descritas os componentes que diferenciam estes sistemas.

Tabela 2.1 – Sistemas de injeção EFI e diferenças entre os mesmos, adaptado de (Charles O. Probst 1989)

Nome do sistema	**Implementação do sistema**	**Medição da carga**	**Pressão do combustível**	**Unidade de controlo/número de pinos da unidade de controlo**	**Presença de sensor lambda**
D-Jetronic	VW 311	MAP	2.0 bar	analógico/25	não presente
L-Jetronic	Porsche 914	VAF	2.5-3.0 bar	analógico/35	não em todos
Motronic	BMW 528e	VAF	2.5-3.0 bar	digital/35	todos
LH-Jetronic	Volvo	MAF	2.5-3.0 bar	digital/35	todos
LH-Motronic	BMW	MAF	2.5-3.0 bar	digital/35	todos

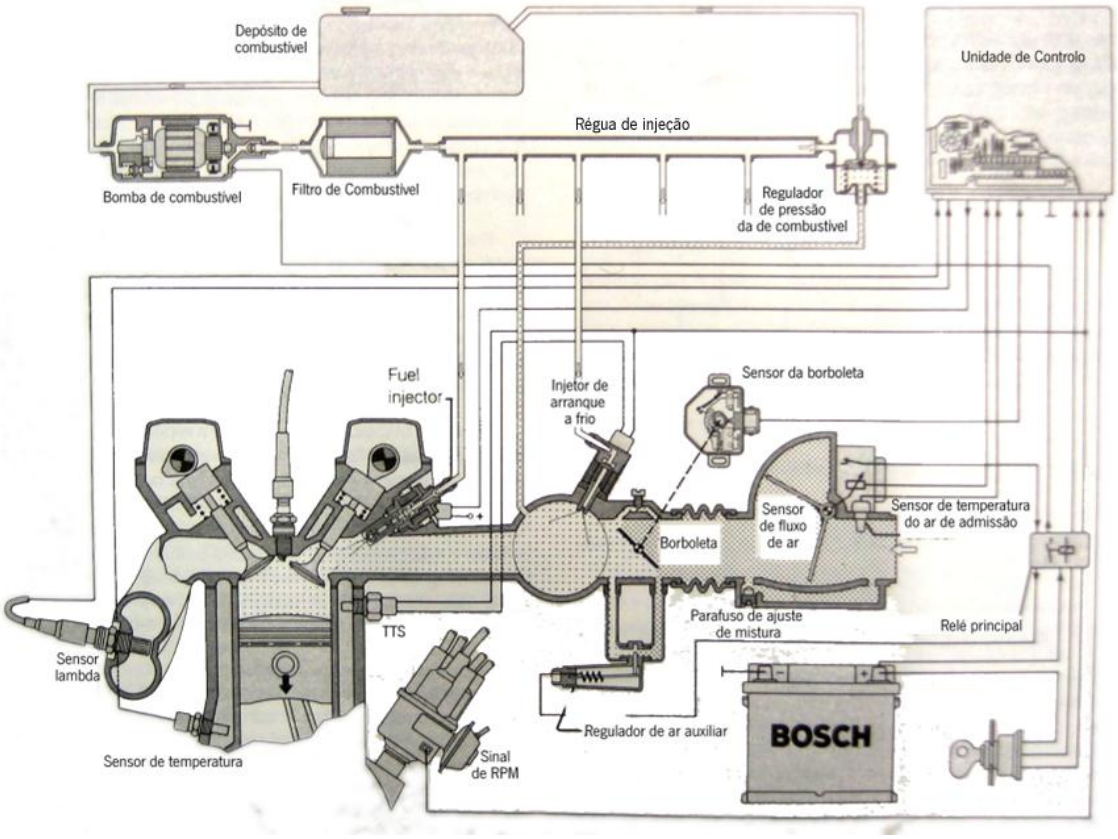


Figura 2.14 – Sistema L-Jetronic adaptado de (Charles O. Probst 1989)

2.3.2.5 Sistema D-Jetronic

O sistema D-Jetronic foi o primeiro sistema de injeção pulsada a se implementada em automóveis da marca Volvo e Mercedes em 1975. Este sistema tem a particularidade de:

- utilizar um sensor de pressão para medição da carga do motor;
- utilizar dois grupos de bacos de injeção, ou seja os injetores eram energizados em 2 grupos separados de 2, 3 ou 4 injetores.
- utilizar interruptores de contatos de modo a sincronizar os pulsos de injeção.

O sensor de pressão da admissão – MAP (do inglês Manifold absolute pressure), funciona a partir de diferenças de pressão do ar de admissão e do ar atmosférico. No seu interior existe uma câmara dividida por dois diafragmas sensíveis a pressão. Um dos diafragmas era exposto à pressão atmosférica e o outro à pressão de ar de admissão. Para a medição desta diferença é

usado um sistema derivado de um LVDT[1], no qual o núcleo ferromagnético está ligado numa das extremidades a um dos diafragmas. O movimento do núcleo é acompanhado pela variação de geometria dos diafragmas causada pela diferença de pressões. A bobinagem envolta do núcleo com posição fixa traduz o movimento do núcleo num sinal elétrico que varia analogicamente. Finalmente este sinal é lido pela unidade de controlo que aumenta ou diminui duração do tempo de injeção. O sensor MAP do sistema D-Jetronic pode ser visto na Figura 2.15 com mais detalhe. (Charles O. Probst 1989)

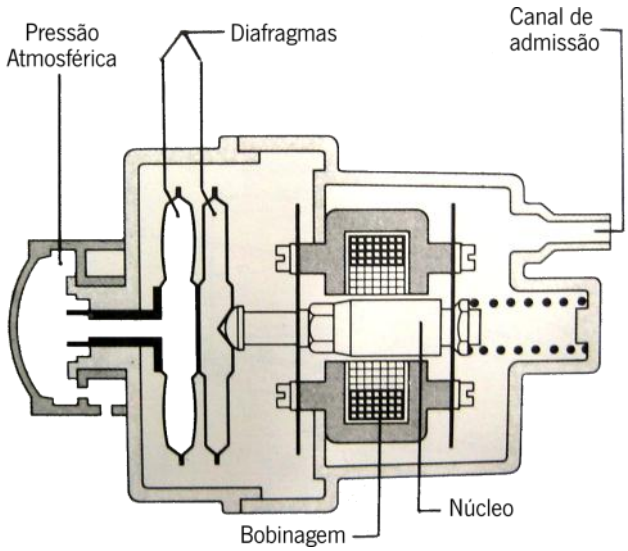


Figura 2.15 – Vista em corte de um sensor MAP utilizado em sistemas D-Jetronic, adaptado de (Charles O. Probst 1989)

Relativamente ao sincronismo dos tempos de injeção, como descrito anteriormente este sistema utiliza interruptores de contato localizados no distribuidor como pode ser visto na Figura 2.16. Os contatos fecham e abrem por meio de um came solidaria com o próprio distribuidor. Estes contatos também são utilizados para traduzir a posição da cambota e rotação do motor. Em relação à ignição, este distribuidor dispõe de um sistema de controlo mecânico de ajuste de avanço de ignição através de pesos centrífugos. (Charles O. Probst 1989)

Ainda neste sistema o sensor de borboleta dispõe de um potenciómetro e de dois seletores para quanto a borboleta está totalmente aberta - carga máxima, e o outro para quando a borboleta está totalmente fechada – em ralenti ou desacelerações. Em mais pormenor, o sensor de borboleta deste sistema pode ser visto na Figura 2.17. Adaptado de (Charles O. Probst 1989)

[1] LVDT – Linear Variable Differential Transformer é um dispositivo que permite transformar um deslocamento num sinal elétrico. O sinal elétrico é proporcional ao deslocamento.

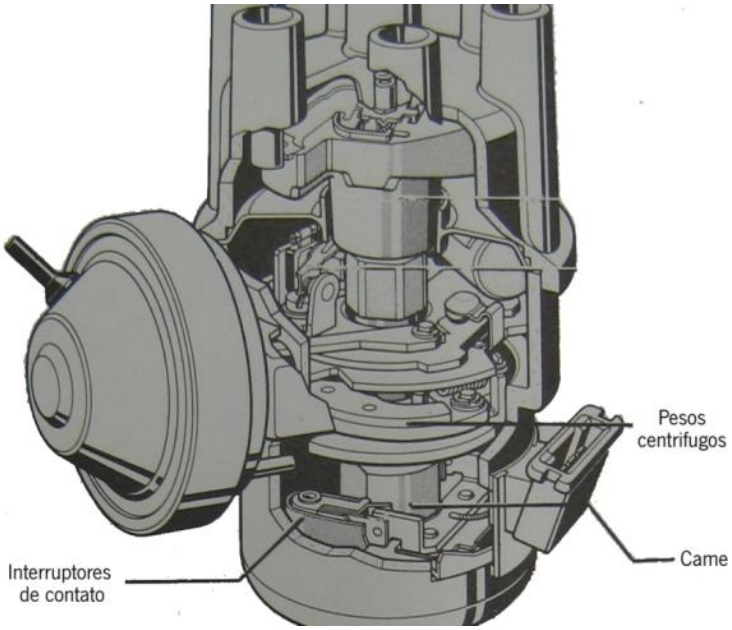


Figura 2.16 – Distribuidor do sistema D-Jetronic BOSCH

adaptado de (Charles O. Probst 1989)

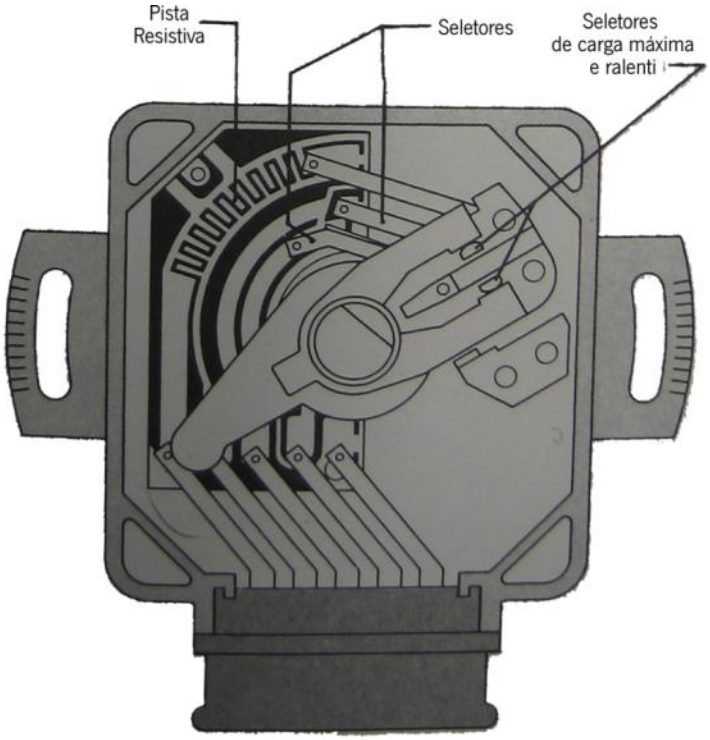


Figura 2.17 – TPS do sistema D-Jetronic adaptado de (Charles

O. Probst 1989)

Como visto na Tabela 2.1, a pressão do combustível é inferior relativamente aos outros sistemas de injeção pulsada, contudo a válvula reguladora de pressão dispõe neste sistema de um parafuso de ajuste de pressão. O ajuste da pressão do combustível reflete-se na quantidade de injeção já que os tempos de injeção e duração de injeção não serão alterados para as mesmas condições de funcionamento.

2.3.2.6 Sistema L-Jetronic

O sistema L-Jetronic, Figura 2.14, utiliza um dispositivo denominado VAF[2] para determinar a quantidade de combustível a injetar, juntamente com outros sensores. Neste sistema o MAF incorpora um sensor de temperatura antes da comporta. O tipo de sensor usado neste sistema é do mesmo tipo do TPS utilizado no sistema D-Jetronic, ou seja uma pista resistiva. O valor do sinal elétrico varia consoante a posição da comporta que é acionada pelo volume de ar admitido para o motor. Este dispositivo pode ser visto em mais detalhe na Figura 2.18 e Figura 2.19.

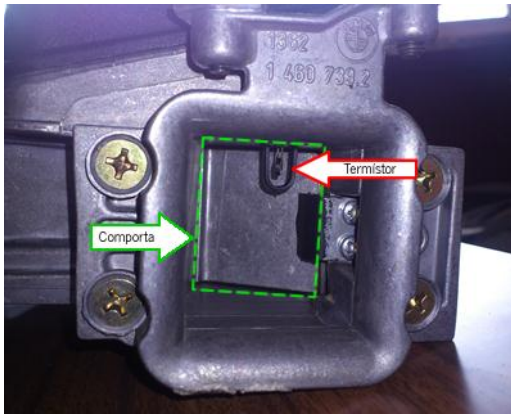


Figura 2.18 – Entrada de ar do MAF de um sistema L-Jetronic implementado num motor BMW K75 com a comporta em repouso

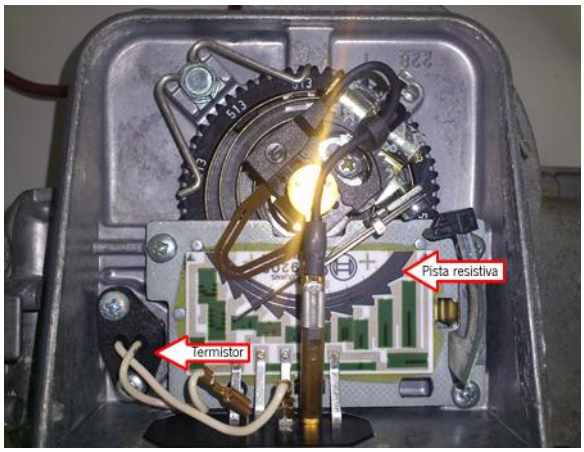


Figura 2.19 – Sensor utilizado no MAF referida na Figura 2.18 comporta repouso

Em comparação com o sistema D-Jetronic o TPS é constituído por dois interruptores que especificam à unidade de controlo três estados de funcionamento, ao ralenti, carga máxima e funcionamento normal. O enriquecimento durante acelerações é feito com base na oscilação da comporta uma vez que existe um maior fluxo de ar. Já o enriquecimento em frio é efetuado pela unidade de controlo através da leitura do sinal do sensor de temperatura do motor. Na Figura

[2] VAF –Vane Air Flow, dispositivo que traduz um fluxo de ar numa grandeza elétrica.

2.20 pode-se ver a diferença do sistema elétrico comparativamente ao TPS do sistema D-Jetronic da Figura 2.17.

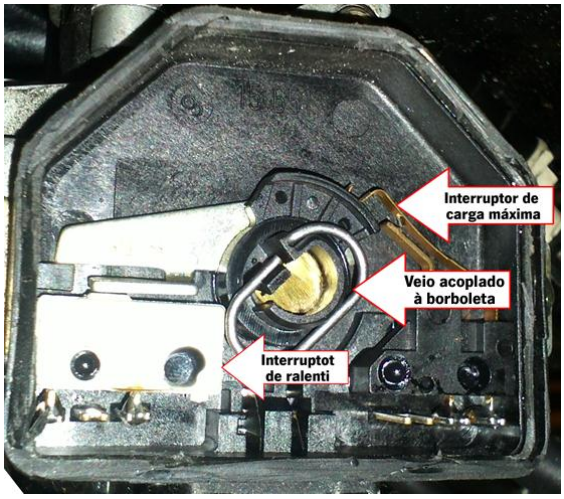


Figura 2.20 – TPS de um sistema L-Jetronic implementado numa moto BMW K75

Ainda no que diz respeito ao regulador de pressão diferencia-se por não possuir o parafuso de ajuste de pressão. Como vários componentes até agora vistos, este funciona através da diferença de pressão da bomba e uma mola calibrada. Regulando pressões normalmente de 2.5bar e 3.0bar em motores mais potentes de modo a obter mais caudal de combustível.

Sendo o objetivo deste componente manter o combustível na tubagem de combustível a uma pressão constante este desvia o excesso de combustível para a linha de retorno do depósito. Na Figura 2.21.

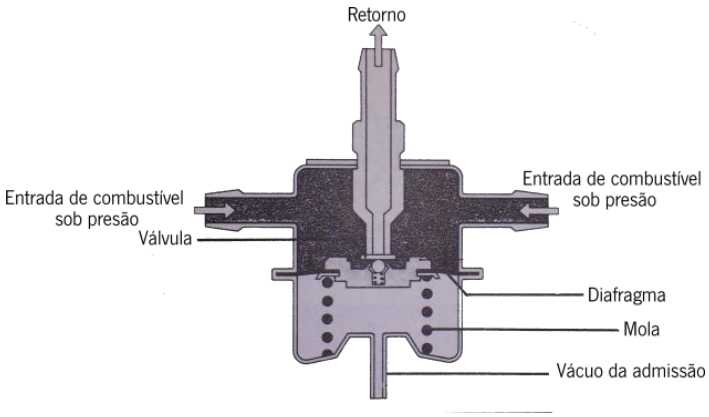


Figura 2.21 – Regulador de pressão da rampa de injeção do sistema L-Jetronic, adaptado de (Charles O. Probst 1989)

2.3.2.7 Sistema LH-jetronics

O sistema LH-Jetronic diferencia-se do sistema descrito anterior pelo facto do sensor de volume de ar admitido ser medido através de um fio quente - MAF[3]. Da Figura 2.22 interpreta-se o esquema eletrónico da seguinte forma:

1. À medida que mais ar passa, *Rh* e *Rk* são arrefecidos;
2. Como *Rh* representa um fio com um α[4] positivo a resistência elétrica deste aumenta;
3. Com aumento da resistência, a tensão entre *Rh* e *R3* aumenta;
4. O amplificador comparador ajusta a tensão de alimentação da ponte *Jh,* de modo a que o filamento aqueça e volte à sua resistência inicial;
5. A diferença de tensão *Um* muda em função da tensão de *Jh*. A unidade de controlo lê esta diferença que corresponde a determinada quantidade de ar admitida pelo motor. (Charles O. Probst 1989)

. Em que Rh é a resistência do fio, e *Rk* a resistência do termístor. *Este* tipo de dispositivo pode se visto na Figura 2.23.

Neste dispositivo é necessário, devido a impurezas do ar e outros detritos, a limpeza do filamento. Para o efeito foi implementado um sistema de queima dos mesmos quando o motor é desligado de modo a garantir o bom funcionamento do mesmo. O processo de queima de resíduos do filamento é realizado através da aplicação de uma tensão de tal maneira alta que leva o filamento ao rubro por um segundo realizando a tarefa anteriormente descrita. (Charles O. Probst 1989)

[3]MAF – Mass Air Flow
[4]α - Coeficiente de temperatura

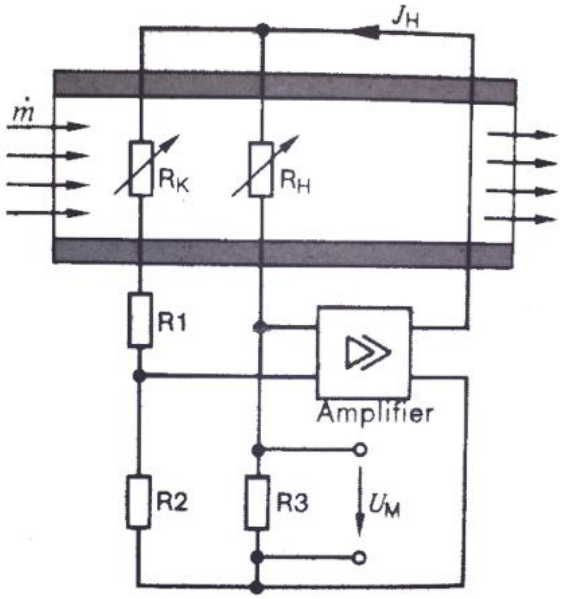


Figura 2.22 – Circuito eletrónico fio quente de um MAF BOSCH, reproduzido de (Charles O. Probst 1989)

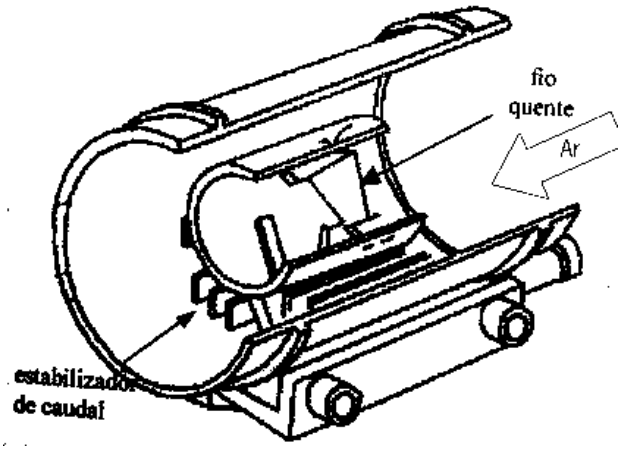


Figura 2.23 – MAF de filamento, adaptado de (Martins 2013)

Feita a comparação dos sistemas D-Jetronic, L-Jetronic e LH- Jetronic vão ser descritos em seguida os componentes comuns a estes sistemas. Isto porque no seguinte subcapítulo seguinte irão ser descritos os sistemas Motronic, e como o nome indica, o sistema de controlo passa a ser um sistema de gestão visto que engloba a unidade de controlo de injeção e unidade de controlo de ignição no mesmo sistema.

A bomba de combustível

A bomba de combustível é importante pois é responsável pela pressurização do combustível até na tubagem de combustível. Como descrito anteriormente esta terá que assegurar 3 bar de pressão na tubagem de combustível. As principais características de uma bomba são:

- Caudal máximo;
- Pressão de funcionamento;
- Tensão elétrica de funcionamento;
- Localização de instalação (dentro ou fora do depósito de combustível).

Uma bomba externa de combustível pode ser vista na Figura 2.24.

Figura 2.24 – Bomba de combustível

O sistema de gestão ou sistema de controlo de injeção controla normalmente o funcionamento da bomba assegurando que está pare de funcionar aquando a paragem do motor. Por norma este dispositivo esta ligado diretamente ao depósito de combustível e a montante desta está o filtro de combustível.

Filtro de combustível

O filtro de combustível é necessário de modo filtrar partículas libertadas por exemplo das escovas do motor da bomba de combustível ou mesmo provenientes do depósito de combustível. Estas partículas se não filtradas poderiam obstruir os injetores ou o regulador de pressão de combustível, daí a sua importância.

Por norma existe exteriormente uma seta inscrita que indica o sentido do combustível.

Conduta

A conduta é constituída normalmente por um tubo de onde os injetores são alimentados. Esta constitui uma segunda função, estabilizar a pressão de combustível, quanto mais largo mais combustível irá armazenar, mantendo assim uma pressão mais estável nos injetores quando estes são energizados.

A jusante da conduta existe o filtro de combustível, a montante o regulador de pressão, já descrito no sistema L-Jetronic Figura 2.14.

Injetor

Os injetores dos sistemas Jetronic são componentes eletromecânicos, isto é válvulas ativadas por um campo magnético gerado por uma bobinagem. O controlo deste componente é feito através de uma ficha elétrica de duas vias que liga à unidade de controlo. A unidade de controlo por sua vez vária o tempo de impulso elétrico que corresponde a um determinado caudal de combustível injetado a uma pressão constante.

Em mais detalhe o injetor dos sistemas Jetronic pode ser visto na Figura 2.25.

Como características dos injetores temos:

- Resistência da bobinagem podendo ser:

  -Alta impedância: entre 12 a 16 Ω

  -Baixa impedância: <2.4 Ω

- Capacidade do injetor (caudal máximo em função de uma determinada pressão, normalmente 3.0bar);

- Tempo morto do injetor;

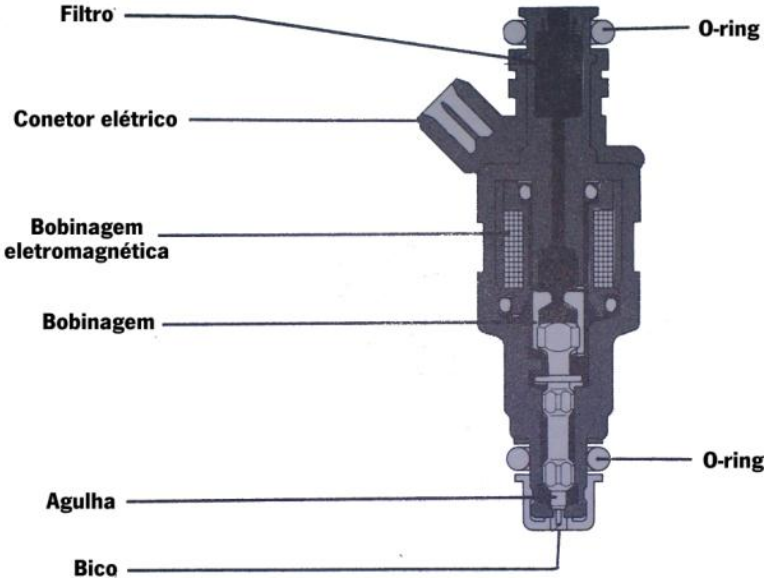


Figura 2.25 – Injetor L-Jetronic adaptado de (Charles O. Probst 1989)

Nos sistemas Jetronic a largura do pulso de injeção é sincronizada com a frequência de rotação do motor – uma injeção por rotação. À medida que a rotação aumenta o tempo entre injeções diminui o que leva a que a injeção seja menos precisa em altas rotações.

Aqui é necessário ter em conta o tempo morto do injetor. O tempo morto pode ser dado como o tempo entre o estímulo elétrico e o início de fluxo de combustível.

Relativamente ao sistema elétrico, a bobinagem do injetor, quando ligada a ignição, fica sempre polarizada, isto é, existe sempre tensão num dos terminais do injetor, sendo o circuito fechado à massa, dando inicio ao pulso de injeção, pela unidade de controlo. É necessário ainda ter atenção à sua resistência de bobinagem, isto é, a utilização de baixas resistências de bobinagens inicialmente levou a que fossem utilizadas resistências em série de modo a limitar a corrente das bobinagens. A partir de 1979 este tipo de controlo passou a feito pela unidade de controlo, a alta resistência dos injetores significava menos corrente consumida, logo menos potência para ser controlada.

Relé de combinações

O relé de combinações, como o nome indica é um relé que funciona separadamente da unidade de controlo. Este é responsável por ativar o injetor de arranque a frio, a bomba de combustível e a válvula auxiliar de ar e também a unidade de controlo.

A Figura 2.26 o relé de combinações juntamente com o esquema elétrico interno.

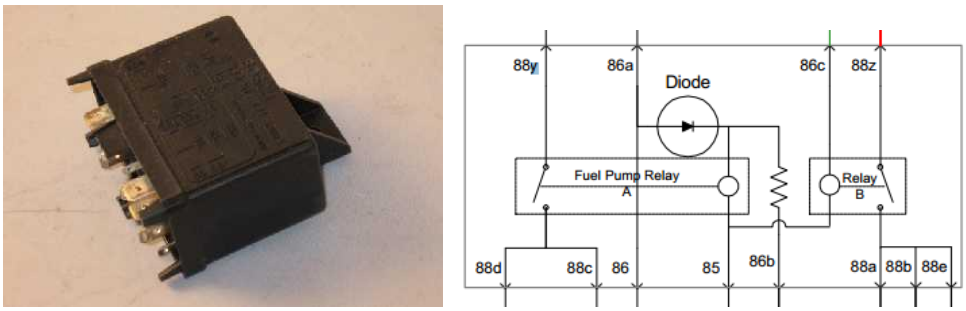


Figura 2.26 – Relé de combinações com esquema elétrico interno

Sensor de temperatura do motor

O sensor de temperatura do motor é importante pois é através deste que a unidade de controlo faz o enriquecimento da mistura durante o aquecimento do motor. Visto se tratar-se de uma resistência NTC[5], a resistência diminui com o aquecimento desta. Por norma este sensor está dentro de um invólucro que é roscado no bloco do motor e é ligado à unidade de controlo através de uma ficha de dois terminais. O sensor de temperatura do motor pode se visto na Figura 2.27.

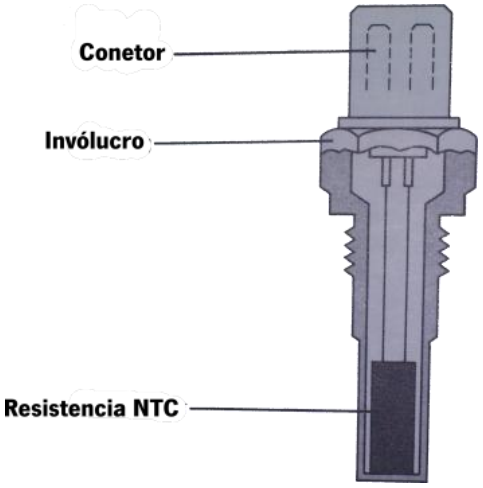


Figura 2.27 – Sensor de temperatura do motor adaptado de (Charles O. Probst 1989)

[5] NTC – Negative Temperature Coeficient ou termístor

Termóstato elétrico

Este sensor é no fundo um interruptor influenciado pela temperatura e controlado pelo relé principal nomeadamente quando o canhão se encontra na posição "start". Este sensor ativa o injetor de arranque a frio de modo a que haja enriquecimento suplementar da mistura aquando o arranque do motor.

Para interromper o circuito do injetor de arranque a frio é usada neste sensor uma lâmina bimetálica. Esta lâmina está envolta por uma bobinagem que por meio de calor proveniente de corrente elétrica juntamente com a temperatura do motor vai fazer com que está flexione com mais ou menos rapidez e geralmente abaixo dos 10 segundos de modo a evitar o encharcamento do motor, Figura 2.28.

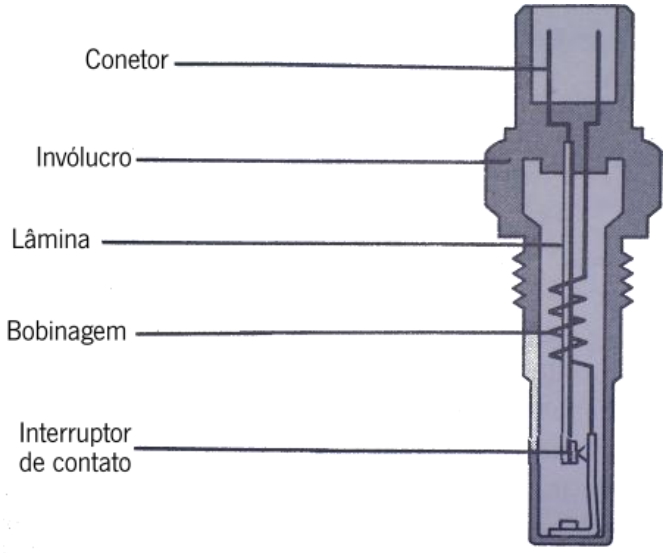


Figura 2.28 – Termóstato elétrico adaptado de (Charles O. Probst 1989)

Válvula auxiliar de ar

A válvula auxiliar de ar ou válvula de ralenti é responsável por permitir o *ralenti* quando está frio. A necessidade de um maior volume de ar quando o motor está frio compensado com o enriquecimento da mistura é necessário devido à maior resistência de fricção dos componentes do motor, garantindo assim a boa resposta do motor e bom funcionamento. O mecanismo da válvula auxiliar de ar pode ser visto na Figura 2.29 e Figura 2.30.

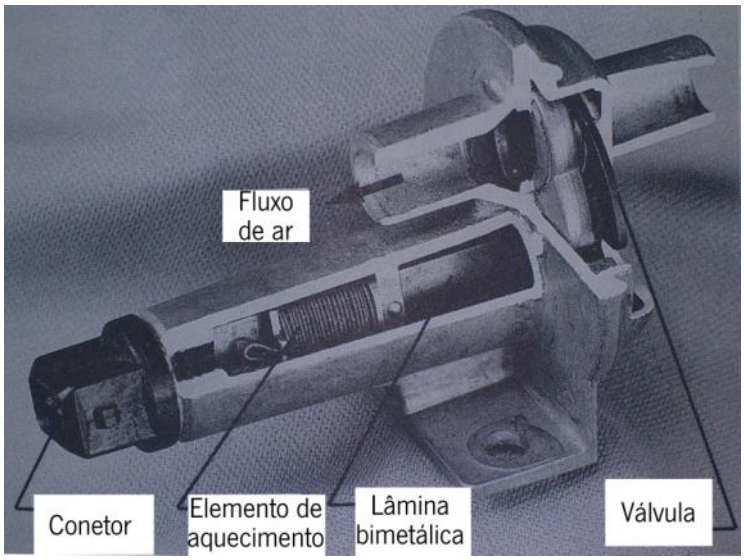


Figura 2.29 – Válvula auxiliar de ar elétrica adaptado de
(Charles O. Probst 1989)

Funcionalmente esta válvula é acionada por corrente elétrica, dependente da temperatura do motor. Quando este está frio é fornecida corrente elétrica ao elemento de aquecimento que consequentemente abre a válvula por meio de uma lâmina bimetálica. À medida que o motor aquece a unidade de controlo reduz a corrente do elemento bimetálico fazendo com que a válvula vá fechando por meio de uma mola de retorno.

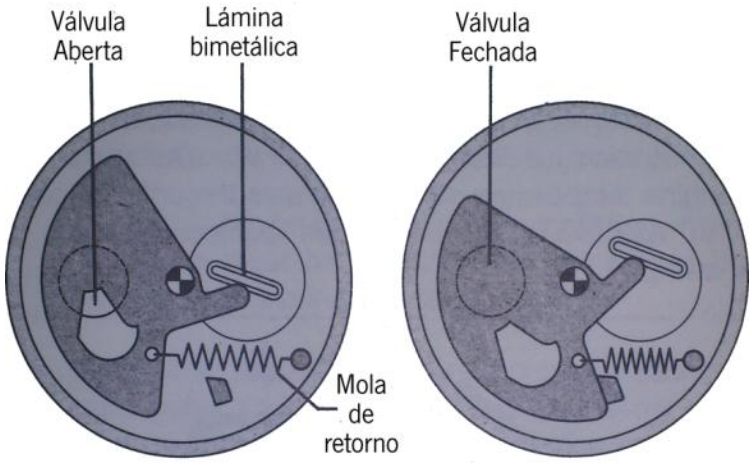


Figura 2.30 – Vista em corte da válvula auxiliar de ar elétrica adaptado de (Charles O. Probst 1989)

Sensor lambda

O sensor lambda é um sensor colocado no tubo de escape de modo a avaliar a riqueza da mistura, Figura 2.31. O sistema de controlo ajusta continuamente a quantidade de injeção com base no sinal do sensor lambda conseguindo manter a mistura relativamente ideal – controlo em malha fechada.

Figura 2.31 – Sensor lambda reproduzido de (Olsson 2008)

O transdutor do sensor lambda tem a constituição ilustrada na Figura 2.32. Pela diferença do teor de oxigénio entre os gases de escape e o ar atmosférico é gerada uma carga galvânica entre a face interior e a face exterior do eletrólito cerâmico. O sinal elétrico do sensor é retirado da face interior, estando a face exterior ligada à massa.

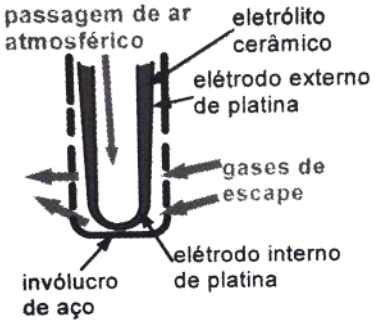


Figura 2.32 – Transdutor do sensor lambda (Martins 2013)

Em termos elétricos, este sensor precisa de aquecer para a carga galvânica ser gerada e sinal possa ser interpretado pela unidade de controlo. Em determinados modelos de automóveis existe um elemento de aquecimento (resistência elétrica) de modo a acelerar o aquecimento deste. Através deste elemento é possível o funcionamento deste ao fim de 10 a 15 segundos depois do motor arrancar. Relativamente à amplitude do sinal gerado por este ronda aproximadamente 1V quando a mistura está rica e aproximadamente 0V quando a mistura está pobre. O sinal de saída em volts pode ser visto na Figura 2.33 em função do AFR.

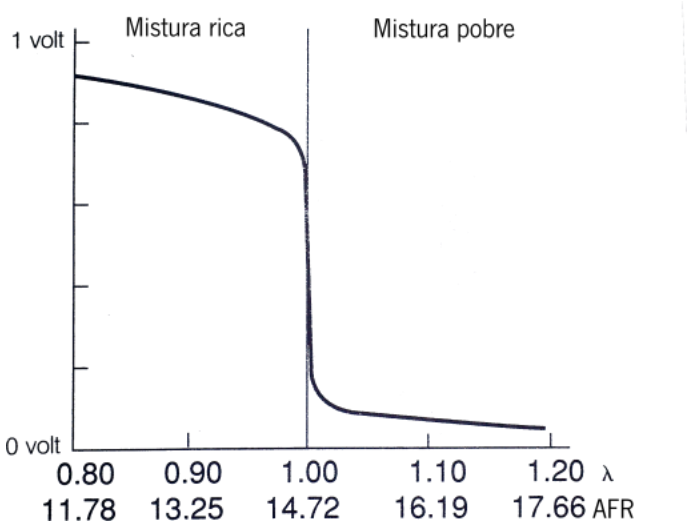


Figura 2.33 – Tensão de saída de um sensor lambda em função da razão ar-combustível adaptado de (Charles O. Probst 1989)

É com base na tensão do sensor que a unidade de controlo gere a riqueza da mistura. Contudo este controlo em malha fechada não é implementado em todos os estados de funcionamento do motor, sendo eles:

- Durante o arranque do motor, em que é necessário um enriquecimento de cerca 250% com o motor frio;
- Durante a fase de aquecimento do motor;
- Durante acelerações.

2.3.3 Sistemas Motronic

O sistema Motronic é caracterizado pela união do sistema de controlo L-Jetronic ao sistema de controlo de ignição numa só unidade de controlo passando a ser um sistema de gestão. Uma vez que o sistema de controlo de injeção L-Jetronic já foi descrito apenas irão ser descritas algumas diferenças no controlo de injeção e o controlo de ignição electrónico, fazendo algumas comparações relativamente aos sistemas anteriores. Na Figura 2.39 está ilustrado o esquema do sistema Motronic, no qual relativamente se nota as alterações relativamente ao sistema L-Jetronic.

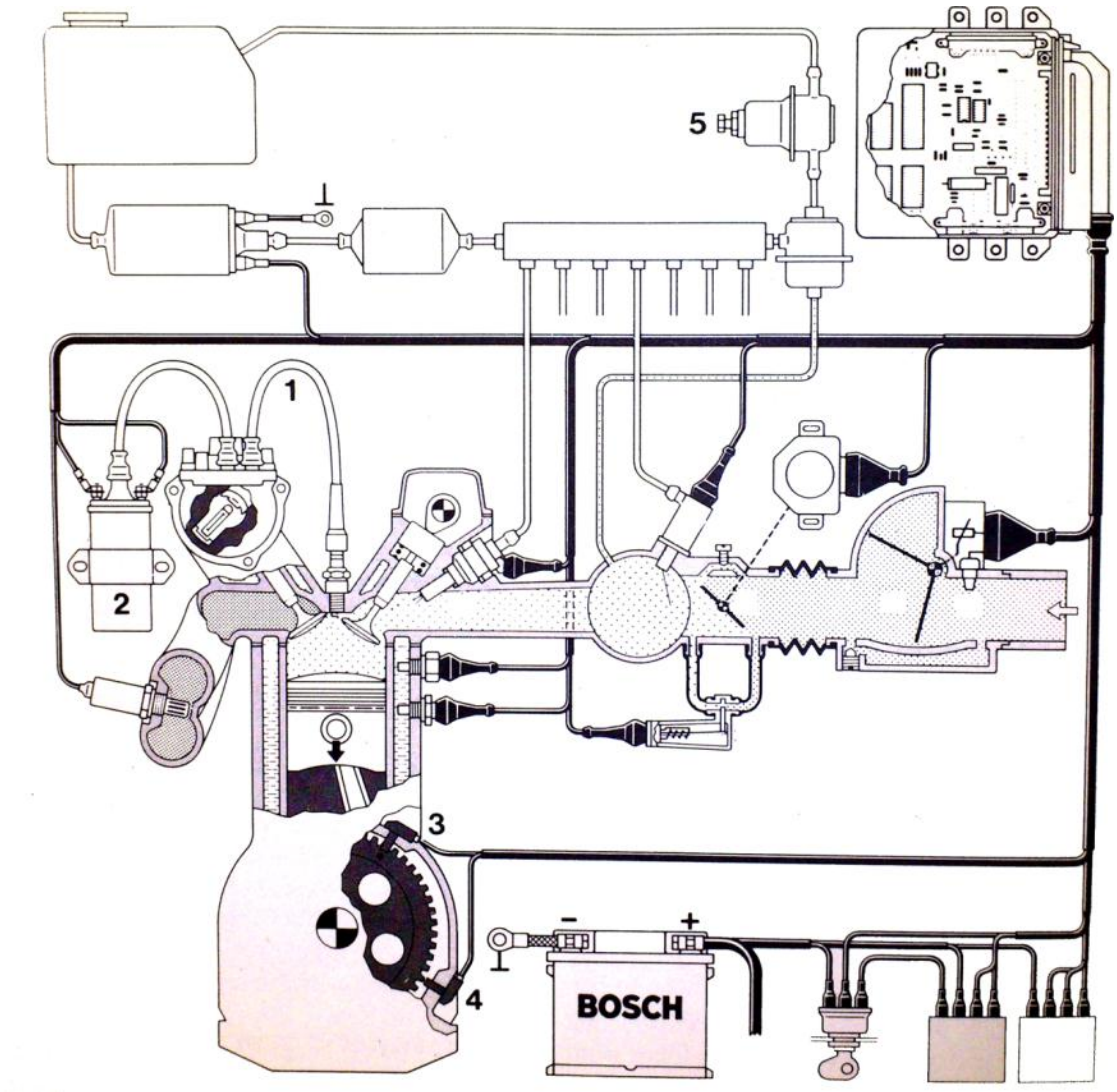


Figura 2.34 – Esquema Motronic, com o sistema de ignição(1,2), sensores de posição na cambota(3,4), estabilizador de pressão da régua de injeção(5), reproduzido de (Charles O. Probst 1989)

2.3.3.1 Sistemas de Ignição

Os sistemas de ignição permitem com que se inicie a combustão da mistura dentro do cilindro através de uma faísca de alta tensão. Convencionalmente nestes sistemas existe uma fonte de energia, seja ela uma bateria ou alternador, um transformador conhecido como bobina de ignição, e os eletrodos presente numa vela de ignição.

A fonte de energia é responsável por fornecer energia elétrica ao sistema, geralmente é uma bateria de 12V (ignição por bateria) ou um alternador (ignição por magneto) em sistemas

mais antigos mais conhecido por rotativo. Nos primeiros sistemas de ignição por bateria o primário da bobina é alimentado diretamente pela bateria (Figura 2.35). Sempre que este circuito é interrompido por um mecanismo denominado de platinado, uma faísca é gerada na vela de ignição. Tanto neste sistema como nos sistemas de ignição por bateria mais antigos é necessário a utilização de um distribuidor juntamente com um platinado para que a faísca ocorra no PMS do cilindro correto. A desvantagem destes sistemas é incapacidade do controlo do ângulo-*dwell* durante toda a gama de rotação

O *dwell*, ângulo em *dwell* ou tempo de *dwell* entende-se como o tempo de carga da bobina de ignição, mais especificamente o intervalo em graus relativamente ao eixo do distribuidor entre o fecho e abertura do platinado.

O *dwell* é importante pois à medida que a rotação aumenta a frequência das faíscas aumenta na mesma proporção deixando um intervalo de tempo menor para energização da bobina de ignição, a Figura 2.37 ilustra a os tempos de carga ótimos de energização de uma bobine em função da tensão aplicada ao primário da mesma. Esta é a desvantagem do sistema de ignição por bateria pelo facto de ser um sistema mecânico controlado pelo platinado. Comparativamente ao sistema por magneto, este problema é resolvido com o aumento de rotação, uma vez que a tensão gerada no estator é maior, e consequentemente a bonina carrega mais rapidamente até ao ponto de saturação como se pode ver na Figura 2.38. (Martins 2013)

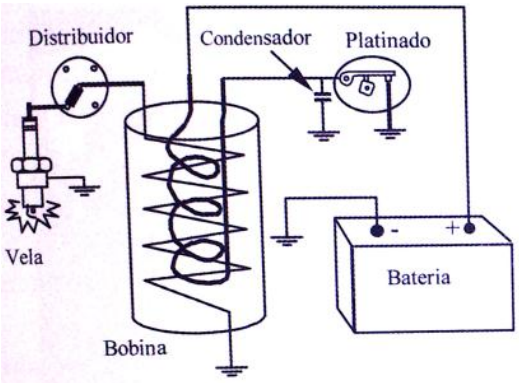


Figura 2.35 – Ignição por bateria reproduzido de (Martins 2013)

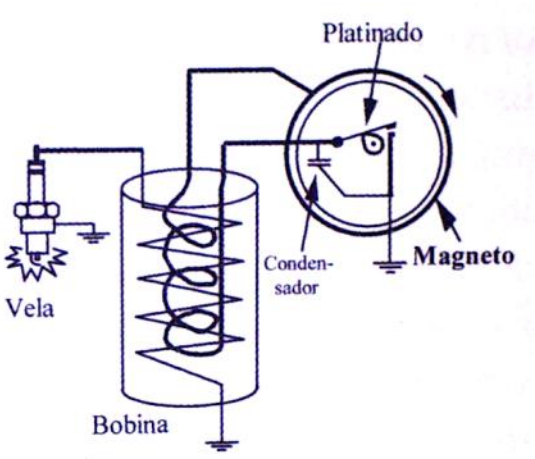


Figura 2.36 – Ignição por magneto reproduzido de (Martins 2013)

Outra característica dos sistemas de ignição é o avanço de ignição. O avanço de ignição define o tempo em graus relativamente ao PMS do cilindro em que ocorre a faísca. Nos sistemas de ignição anteriormente descritos o avanço é fixo independentemente da velocidade do motor. A variação de avanço de ignição permite maximizar o trabalho útil da combustão da mistura. Contudo o avanço de ignição ótimo depende de vários fatores, de entre os mais importantes a rotação do motor e a densidade dos gases de admissão. Em motores com sistema de controlo jetronic é comum a implementação de sistemas de ignição de distribuidor com controlo de avanço através de mecanismos para o efeito (Figura 2.16). Nestes sistemas o avanço é realizado por um dispositivo centrífugo, por um diafragma através da depressão do canal de admissão ou através da combinação destes dois. Mesmo com este controlo de avanço, em motores dotados de grandes efeitos dinâmicos, não é possível optimizar o avanço em todas as circunstâncias.

Nestes motores a eficiência volumétrica altera-se com a variação de parâmetros, principalmente com a rotação, sendo assim, para obter o rendimento máximo do motor é necessário que o avanço de ignição seja o máximo sem ocorrer o *knock* (auto-ignição da mistura). Na Figura 2.39 e Figura 2.40 nota-se os diferentes avanços de ignição relativamente ao sistema de avanço por distribuidor em relação a um sistema digital de ignição, em função da rotação e carga do motor. No caso do controlo eletrónico digital é possível fazer um controlo optimizado devido a este ser mais flexível. (Martins 2013)

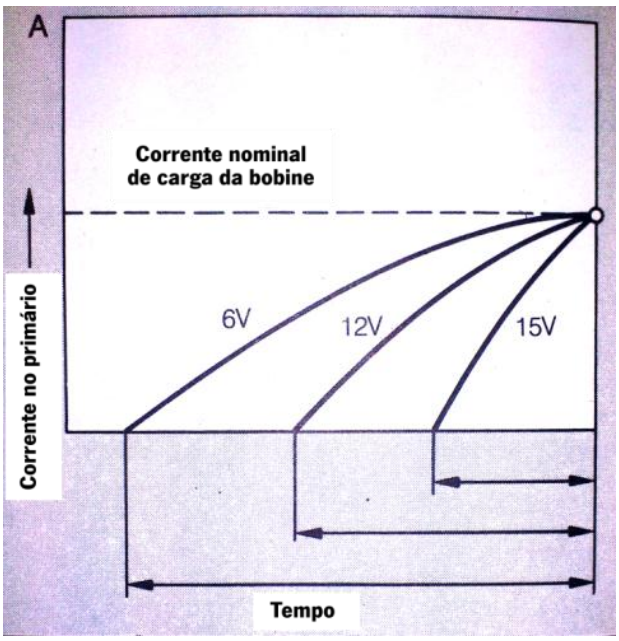


Figura 2.37 – Tempo de carga da bobina em função da tensão aplicada ao primário adaptado de

(Charles O. Probst 1989)

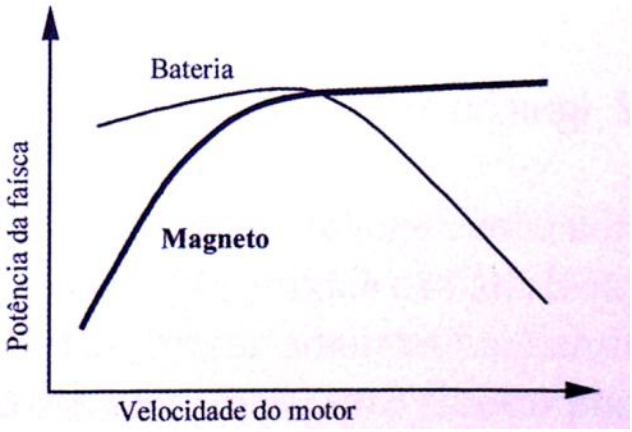


Figura 2.38 – Comparação da potência da faísca em relação à velocidade do motor dos sistemas de ignição por bateria e magneto, reproduzido de (Martins 2013)

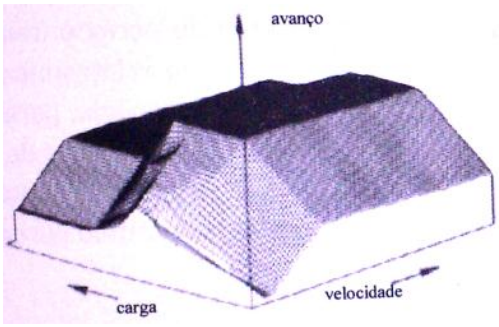


Figura 2.39 – Avanço da ignição num sistema analógico (centrífugo + depressão) reproduzido de (Martins 2013)

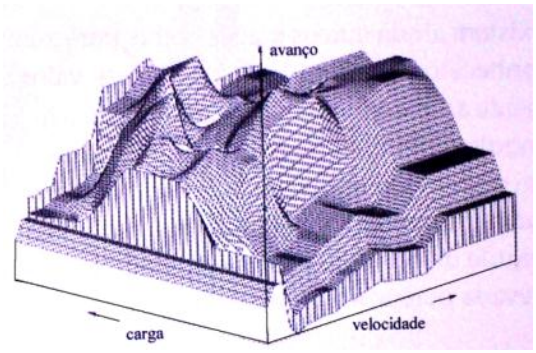


Figura 2.40 – Avanço da ignição num sistema digital (Bosch) reproduzido de (Martins 2013)

Em 1981 foram introduzidos pela Bosch os sistemas Motronic.. Assim este sistema veio trazer as seguintes funções adicionais:

- controlo mais flexível dos tempos de ignição de cada cilindro;

- auto-adaptação através do controlo da mistura e tempo de ignição com base nas condições de funcionamento do motor;

- diagnóstico, o sistema de gestão reconhece falhas no sistema e memoriza no sistema de modo a que possam ser corrigidas. (Charles O. Probst 1989)

Como a unidade de gestão controla a ignição, repara-se na Figura 2.34 a utilização de dois sensores de posição da cambota, o distribuidor ainda presente mas sem o sistema de avanço centrífugo e vácuo.

Relativamente à codificação da rotação esta é efetuada nestes sistemas através de dois sensores de relutância magnética. Estes sensores têm a particularidade de não necessitar de alimentação elétrica e produzirem nos seus terminais uma tensão alternada do tipo sinusoidal. Um dos sensores serve para determinação da velocidade do motor enquanto o segundo sensor para o sincronismo da rotação, normalmente alinhado com o TDC do cilindro do cilindro nº1. Para que os sensores gerem o sinal, um disco dentado ferromagnético é acoplado ao volante do motor, enquanto para o segundo sensor é utilizado um parafuso saliente num disco uniforme, Figura 2.41. Também é possível encontrar em sistemas Motronic a utilização de um só sensor, que realiza as duas funções através de um disco modificado para o efeito. Normalmente nos sistemas de dois sensores o disco dentado é uniforme, isto é, os "dentes" estão espaçados à mesma distância e com as mesmas dimensões, em sistemas Motronic com apenas um sensor existe a falta de dois "dentes" de modo a que o sistema possa referenciar o PMS.

Deste modo as saliências do disco perturbam o campo magnético do sensor que é colocado perto deste como demonstra a Figura 2.41, gerando o sinal que é posteriormente lido pelo sistema de gestão Motronic.

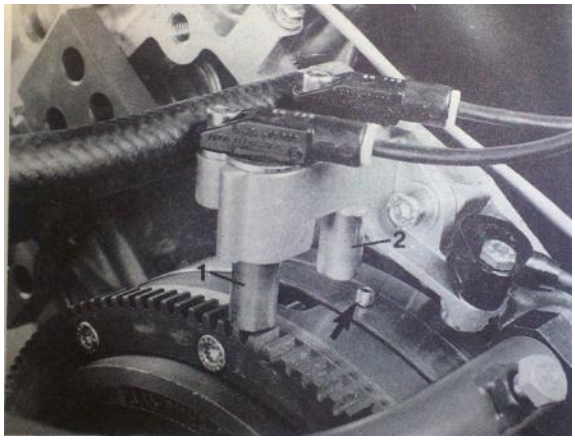


Figura 2.41 – Sensores de relutância magnética (1,2) sob o volante do motor, reproduzido de (Charles O. Probst 1989)

A utilização deste tipo de sensores permite juntamente com a grande dimensão do disco detetar variações de velocidade/rotação sem que seja necessário concluir uma rotação. Esta vantagem deve-se ao facto do sensor gerar vários pulsos numa só rotação, o que não acontece no sensor de rotação por distribuidor.

Assim o sistema de gestão Motronic é capaz de controlar mais eficientemente os tempos relativamente à injeção e ignição devido à alta resolução do sistema.

Porém para tirar partido do sistema sensorial é necessário que os actuadores do sistema sejam optimizados. Para tal, o controlo de ignição é transistorizado, isto significa que a carga da bobine é efetuada por meio de um comutador eletrónico controlado pelo sistema de gestão. Contudo, como já descrito anteriormente, a descarga da bobina é direcionada por meio de um distribuidor mecânico simples, Figura 2.42.

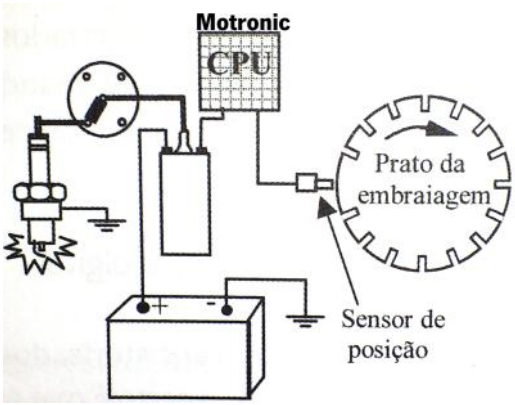


Figura 2.42 – Esquema de ignição digital Motronic adaptado de (Martins 2013)

A implementação de circuitos integrados na placa de controlo marca a transição dos sistemas de controlo analógico para digital, utilizados atualmente. A Figura 2.43 mostra a diferença entre o sistema analógico L-jetronic e o sistema digital Motronic, na qual se pode ver claramente a implementação deste circuito lógicos assinalados por A. Para tratamento dos sinais a unidade Motronic dispunha de entre os circuitos lógicos um microcontrolador responsável pelos cálculos, leitura de sensores e controlo dos actuadores através dos *drivers* de potência

assinaldos por B e C. Também de entre os circuitos lógicos assinalados por A existe uma a memória pré programada lida pelo microcontrolador contendo os mapas de injeção e avanço de ignição, entre outros.

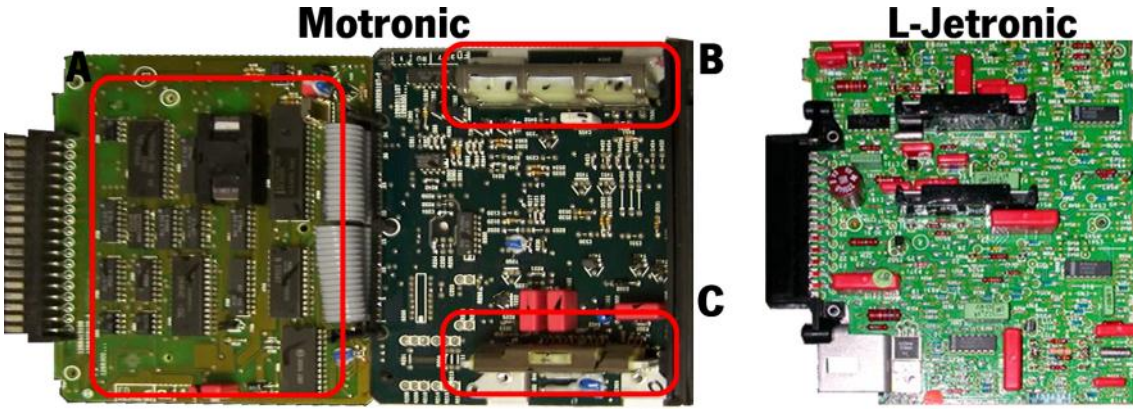


Figura 2.43 – Placas de controlo controlo Motronic e L-Jetronic, A – Circuitos Lógicos, B e C – *Drivers* de potência para os injetores e bobina de ignição.

Através do controlo transistorizado, o sistema de gestão é capaz de variar o *deak* da bobina e o avanço da ignição. Estes valores porém não são calculados, ao invés a unidade de controlo tem na sua memória pré-programada valores em tabelas bidimensionais que utiliza dependentemente dos parâmetros de entrada. A utilização destas tabelas não é única para parâmetros de ignição, estas também são utilizadas para:

- injeção de combustível;
- controlo em malha fechada do sensor lambda;
- aquecimento do motor;
- aceleração;
- EGR;
- controlo do *ralenti*.

Os valores das tabelas foram gravados na memória a partir de testes do motor em banco de ensaio variando as condições de velocidade, carga do motor, pressão atmosférica e

temperatura, tendo como objetivo o alcance da melhor relação potência/economia de acordo com a regulação de emissão de gases poluentes.

Dependentemente dos sinais gerados pelos sensores, o sistema consulta as tabelas (também conhecidas como mapas Figura 2.40) presentes na ROM (Read Only Memory), um componente eletrónico para armazenamento de dados no formato digital. Durante este processo, mesmo que a tabela não tenha o valor correspondente para cada condição específica, o sistema optimiza o valor de saída através da interpolação dos valores circundantes na tabela.

Estabilizador de ralenti

Ainda nestes sistemas, para controlo da velocidade de ralenti, é utilizado a variação do avanço de ignição em conjunto com um novo componente em relação ao sistema L-jetronic denominado de estabilizador de ralenti também utilizado nos sistemas LH-jetronic, Figura 2.44.

Figura 2.44 – Estabilizador de *ralenti*

O estabilizador de ralenti é um componente que substitui a válvula auxiliar de ar, este é controlado pelo sistema de gestão, permitindo a regulação do fluxo de ar adicional para o motor durante a fase de aquecimento. (Charles O. Probst 1989)

Primeiramente o sistema altera o avanço de ignição conseguindo variar a velocidade do motor em pequenas porções e em seguida utiliza o estabilizador de ralenti de modo a controlar

maiores porções de rotação. É importante referir que este controlo é efetuado em malha fechada, em função da rotação.

2.3.3.2 Controlo de Injeção

Nos sistemas de gestão Motronic foram implementados novas funcionalidades no controlo de injeção assim como outras funcionalidades de gestão do motor. Aparentemente pela Figura 2.34 nota-se a utilização de um estabilizador de pressão da rampa de modo a reduzir flutuações de pressão e perturbações no sistema.

Eletronicamente o impulso do injetor é diferente do sistema Jetronic. Inicialmente existe a energização do injetor de modo a que este abra, e em seguida um conjunto de pequenos pulsos mantém o injetor aberto reduzindo a corrente elétrica e deste modo o sobreaquecimento deste, como se pode ver na Figura 2.45. (Charles O. Probst 1989)

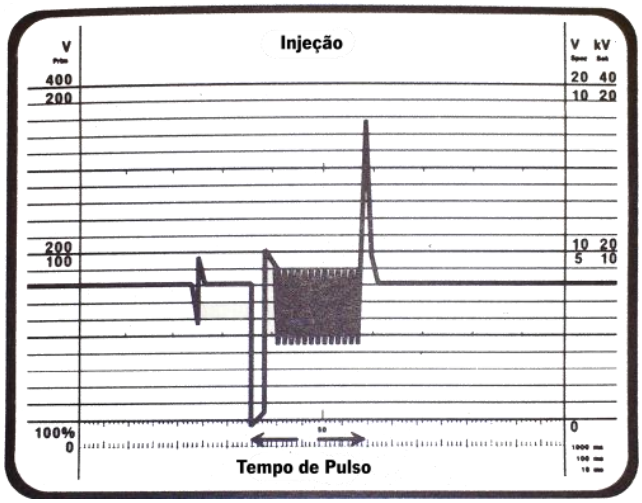


Figura 2.45 – Sinal eletrónico de comando do injetor nos sistemas Motronic, adaptado de (Charles O. Probst 1989)

Em relação às condições de funcionamento temos:

1. Arranque

Durante o arranque do motor na maior parte dos sistemas Motronic o enriquecimento da mistura é feito pelos próprios injetores. Isto significa que o injetor para o arranque a frio é dispensável. Desta forma o sistema efetua várias injeções de pequenas quantidades numa só rotação de cambota quando o motor está frio, e um pulso de duração maior que o normal

quando quente. De forma a evitar o encharcamento do motor, o sistema monitoriza e contabiliza o número de rotações tendo em conta a quantidade injetada desde o início do arranque do motor.

Este controlo é efetuado tendo em conta o sensor de temperatura do motor e não o termóstato elétrico.

Após o arranque a quantidade de injeção é reduzida gradualmente tendo em conta a temperatura do motor, e a rotação mantida com a ajuda do estabilizador de ralenti. (Charles O. Probst 1989)

2. Aquecimento

Durante o aquecimento do motor o sistema de gestão aplica à quantidade de injeção uma correção(em relação à temperatura) em função da velocidade do motor e da carga. Estas correções estão armazenadas na memória ROM do sistema de gestão, garantindo assim o funcionamento do motor e a boa resposta do motor independentemente da temperatura.

Estas correções permitem que o sistema aqueça o sensor lambda mais rapidamente através do atraso da ignição, fazendo com que o sistema entre no controlo em malha fechada reduzindo as emissões de gases poluentes durante o aquecimento do motor. (Charles O. Probst 1989)

3. Aceleração em carga parcial

A quantidade de injeção em carga parcial durante acelerações é aumentada significativamente durante um segundo e reduzida à medida que o motor acelera. Este processo permite economizar combustível e reduzir a emissão dos gases poluentes. As diferentes durações dos pulsos de injeção pode ser vista na Figura 2.46. (Charles O. Probst 1989)

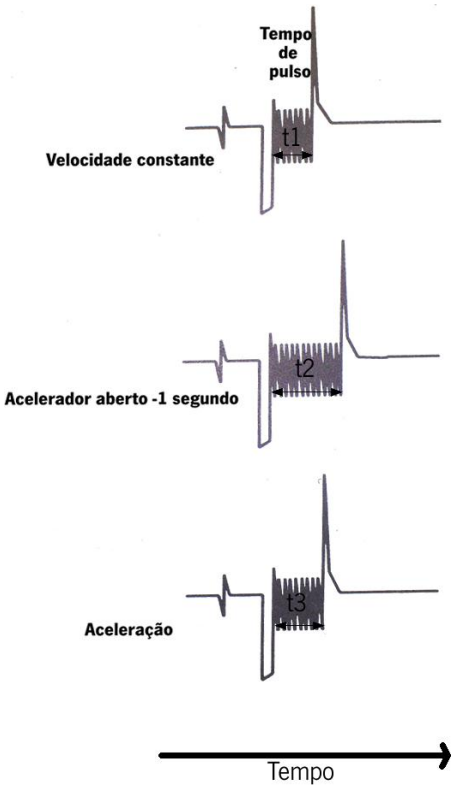


Figura 2.46 – Comparação da largura do pulso de injeção durante a aceleração em sistemas Motronic, t1<t3<t2, adaptado de (Charles O. Probst 1989)

4. Full Throttle

Nos primeiros sistemas Motronic enriquecimento da mistura em carga máxima é efetuado através de um interruptor no sensor TPS. Nesta situação o controlo deixa de ser Velocidade-densidade, e passa a ser utilizado o controlo Alfa-N, ou sensor de posição do acelerador em função da rotação. É através de um mapa presente na ROM baseado em testes efetuados no motor, que o sistema determina o tempo ou quantidade de injeção. Já a ignição depende da temperatura do ar de admissão e da temperatura do motor, que do mesmo modo, através de mapas predefinidos e baseados em testes efetuados. (Charles O. Probst 1989)

5. Desaceleração

No momento de desaceleração, quando o acelerador está em repouso e a velocidade do motor excede a velocidade de ralenti, geralmente 1500rpm, o sistema de gestão não faz injeção. A injeção recomeça novamente quando este se aproxima da velocidade de ralenti, ou mais cedo caso o motor ainda esteja consideradamente pelo sistema de gestão, frio. Ainda relativamente à

ignição, à medida que o condutor volta a acelerar o avanço de ignição é gradualmente aumentado. (Charles O. Probst 1989)

2.3.3.3 Outras Funcionalidades Motronic

Limitador de Rotação

Os sistemas Motronic estão dotados de limitador de rotação máximo. Este limitador pré programado na memória ROM do sistema de gestão permite com que o motor não se danifique relativamente aos limites mecânicos determinados para cada tipo de motor. Este limite de rotação é feito através do corte de injeção se a velocidade do motor excedesse o valor programado. Em termos de quantidade o tempo de injeção era mantido mas alternado como demonstra a Figura 2.47. (Charles O. Probst 1989)

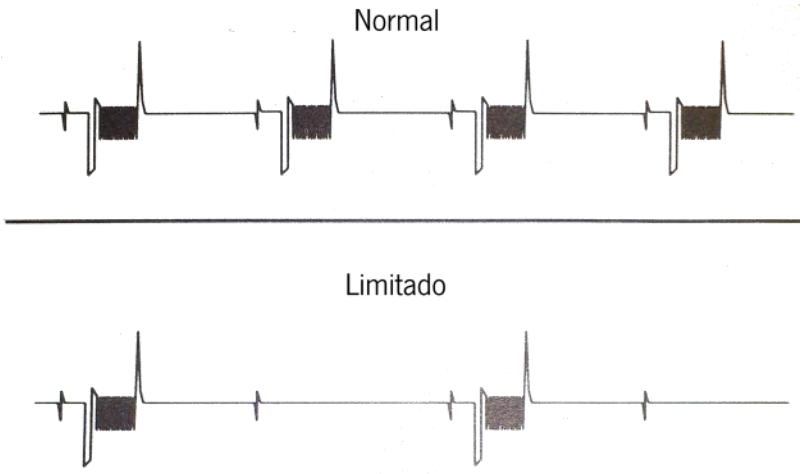


Figura 2.47 – Limitador de rotação Motronic através do corte de impulso de injeção, adaptado de (Charles O. Probst 1989)

Acelerador Eletrónico – Drive-By-Wire

Em alguns sistemas mais recentes Motronic é implementado o acelerador electrónico. O acelerador eletrónico consiste num sensor e num actuador. O Sensor é um potenciómetro que traduz a posição do pedal do acelerador num sinal em tensão. Este sinal é processado pelo sistema de gestão que posiciona a borboleta através de um servomotor, Figura 2.48. A aceleração é efetuada pela unidade Motronic coordenando o enriquecimento da mistura e a posição do acelerador. Este sistema é diferenciado dos sistemas tradicionais por não haver uma

ligação mecânica entre o pedal e o acelerador que embora tenha uma resposta do motor mais lenta comparativamente aos sistemas mecânicos traz vantagens. Sendo elas:

- implementação de *Cruise-Control* simplificado;
- controlo da rotação, na rotação mínima não sendo necessária a utilização do estabilizador de ralenti e na rotação máxima não sendo necessário recorrer ao corte de injeção;
- controlo de tração, a partir da informação partilhada entre o módulo ABS/ASR(velocidade de rotação de cada roda), a potência transmitida ás rodas é controlada para a máxima aderência. (Charles O. Probst 1989)

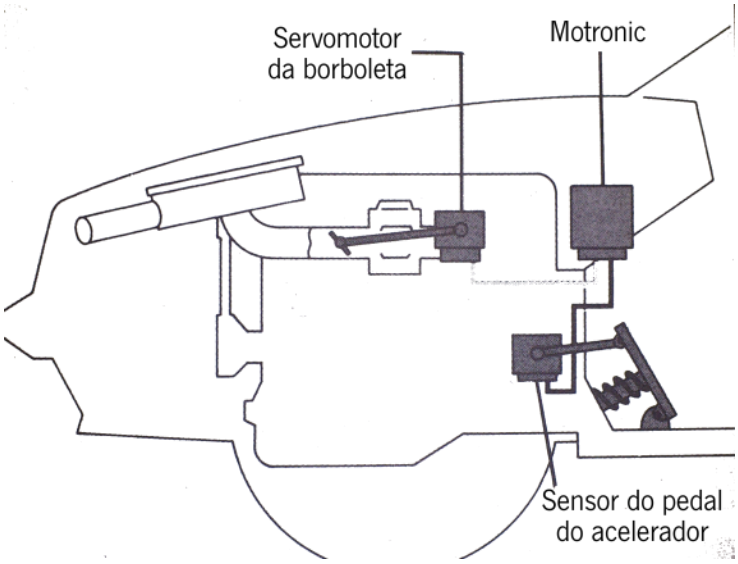


Figura 2.48 – Sistema Drive-By-Wire Bosch, adaptado de (Charles O. Probst 1989)

Diagnóstico OBD On-Board Diagnostics

Para resolução de avarias relativamente os sistemas Motronic, este estavam providos de rotinas de auto-diagnóstico. Estas rotinas são executadas pelo sistema sempre que a chave é inserida no canhão de ignição. Estas rotinas verificam o funcionamento do próprio sistema e dos sinais provenientes dos sensores, que em caso de avaria, o sistema guarda em memória através de um código que identifica o componente/avaria e ativa no painel de instrumentos a luz indicadora de serviço. (Charles O. Probst 1989)

Uma vez identificada a avaria e guardada em memória, esta pode ser lida através da ficha OBD ou através da interpretação de um código luminoso executado pela luz de serviço no painel de instrumentos. (Kay 2001)

2.3.3.4 Motronic –ML.3

Apesar das funcionalidades anteriormente descritas o sistema de gestão Motronic continuou a ser desenvolvido. Em sistemas Motronic de terceira geração (ML.3) foram implementadas ainda mais funcionalidades de modo a reduzir emissões de gases poluentes e aumento de desempenho.

Controlo Adaptativo

Dependentemente das condições de funcionamento, incluindo o estilo de condução, o sistema adapta os parâmetros de funcionamento que podem ser diferentes dos valores predefinidos com base nos em testes no motor. Este controlo adaptativo ou auto afinação permite manter o funcionamento do motor mesmo com por exemplo fugas de ar no sistema no canal de admissão. Os valores são guardados numa memória volátil, o que significa que se a alimentação elétrica for removida estes valores são perdidos. Ainda a determinação de valores é efetuada com o controlo em malha fechada, o que significa que por exemplo no controlo de mistura, a sonda lambda é tida em conta para ajustar a mistura, que depois de ajustada é retida em memória mediante as condições de funcionamento. (Charles O. Probst 1989)

Controlo de purga do Canister

Nos sistemas ML.3 os vapores libertados pela gasolina no depósito são reintroduzidos no canal de admissão e não libertados para a atmosfera. A reintrodução dos vapores é feita por uma válvula eletromecânica como se na Figura 2.49. Deste modo e com o controlo em malha fechada através do sensor lambda é regulada a quantidade injetada. Durante o processo de reintrodução dos vapores o sistema de gestão desliga o sistema de controlo adaptativo e impede que os valores definidos pelo controlo adaptativo interfiram.

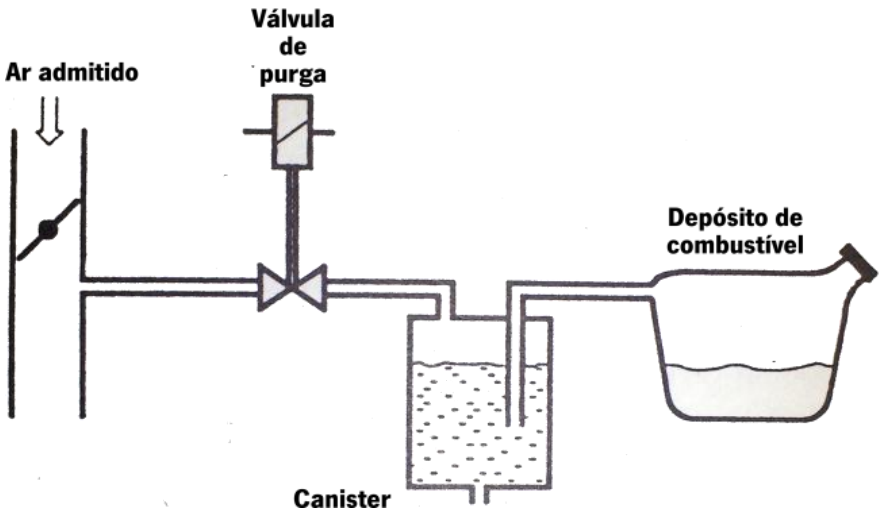


Figura 2.49 – Sistema de purga do *canister* do sistema Motronic ML.3, adaptado de (Charles O. Probst 1989)

Injeção sequencial

A injeção sequencial significa que a injeção é efetuada individualmente a cada cilindro e em sequência com a ordem de fogo. Nestes sistemas a injeção sequencial é possível visto o aumento de velocidade de processamento comparativamente aos sistemas Motronic anteriores. Assim esta funcionalidade veio trouxe as seguintes vantagens:

- maiores durações(em tempo) de injeção visto que um injetor independente pode estar aberto durante 720° de cambota menos o tempo de abertura da válvula de admissão;

- maior eficiência de controlo da velocidade do motor, o que implica velocidades de ralenti mais estáveis e acelerações mais controladas em função das emissões uma vez que a mistura é regulada na próxima injeção, e não no próximo ciclo.

- maior estabilidade da pressão da rampa de injeção devido ao facto de um só injetor abrir a cada momento de injeção, o que resulta em quantidades injetadas mais precisas.

- possibilidade de limitar a velocidade do motor gradualmente através da redução da quantidade injetada de cilindro para cilindro.

É de notar que o tempo de injeção é determinado para o injetor fechar no momento anterior à abertura da válvula de admissão, salvo durante acelerações em alguns sistemas. Em relação aos sistemas anteriores a única desvantagem é o custo.

Controlo de knock

Tal como descrito anteriormente a utilização do avanço máximo permite retirar o máximo rendimento do motor, contudo este é feito tendo em conta que detonação automática do combustível não aconteça. Para tal em sistemas Motronic é utilizado um sensor knock de modo a que o avanço seja máximo e que o motor não se danifique. A regulação do avanço com sensor *knock* é feita em malha fechada através de uma unidade de controlo de *knock* – KLR(Klopfregler do alemão). A implementação destes sistemas era mais comum em motores com turbo, uma vez que a pressão de admissão de ar forçado aumenta a ocorrência de *knock*. Nos motores com turbo ainda era utilizado um regulador de pressão eletromecânico para regulação da pressão da admissão controlado pelo sistema de gestão Motronic. Assim o sistema de gestão ajusta não só o tempo de ignição como também a pressão do ar de admissão, Figura 2.50.

Nos sistemas ML.3 esta unidade de controlo de regulação de *knock* já é integrada no sistema de gestão. (Charles O. Probst 1989)

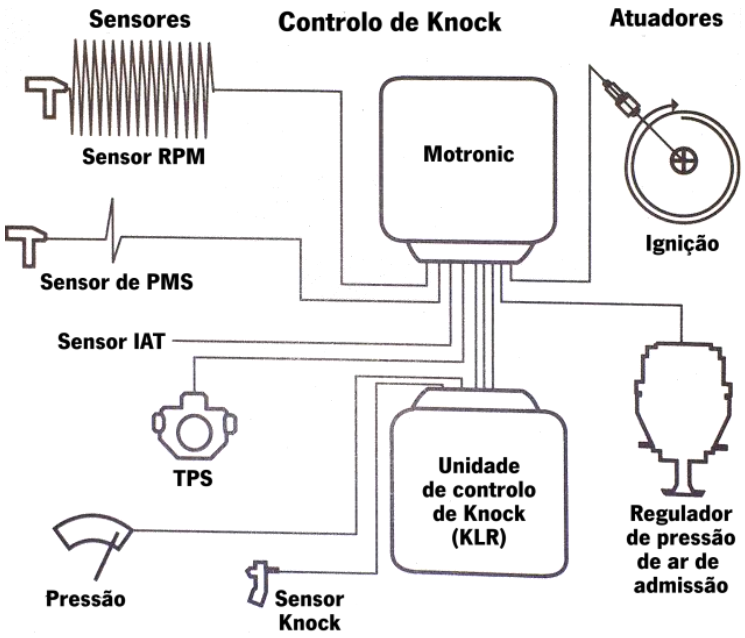


Figura 2.50 – Controlo de *knock* num motor com turbo, adaptado de (Charles O. Probst 1989)

Em termos eletrónicos o sensor *knock* - Figura 2.51, é constituído por uma pastilha piezoelétrica que é energizada por um sinal em tensão e com uma frequência fixa na ordem dos 5kHz a 10kHz dependendo da marca e modelo do sensor, pela unidade de controlo de *knock*. (Al Grippo and Bruce Bowling 2013)

Figura 2.51 – Sensor Knock instalado no bloco do motor, reproduzido de (Pucheng Sensors s.d.)

Aquando a ocorrência de *knock* o motor produz vibrações com frequências entre 5kHz e 10kHz. Estas frequências interferem com o sinal aplicado ao sensor em amplitude devido ao efeito de ressonância. Por sua vez a unidade de controlo quantifica estes valores e a unidade de gestão modifica o avanço relativamente ao cilindro onde está a ocorrer o *knock* até este

desaparecer. A Figura 2.52 ilustra a tensão do sensor *knock*. Em seguida o avanço é aumentado até haver novamente a ocorrência deste. (Charles O. Probst 1989)

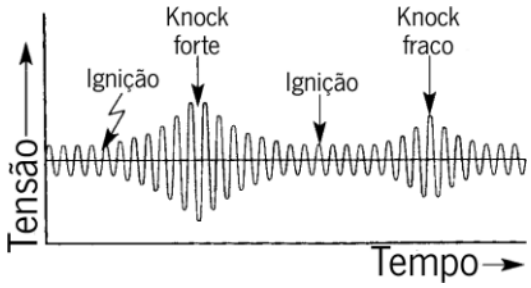


Figura 2.52 – Saída de tensão de um sensor *knock* com a ocorrência de *knock* adaptado de (Toyota Motor Sales s.d.)

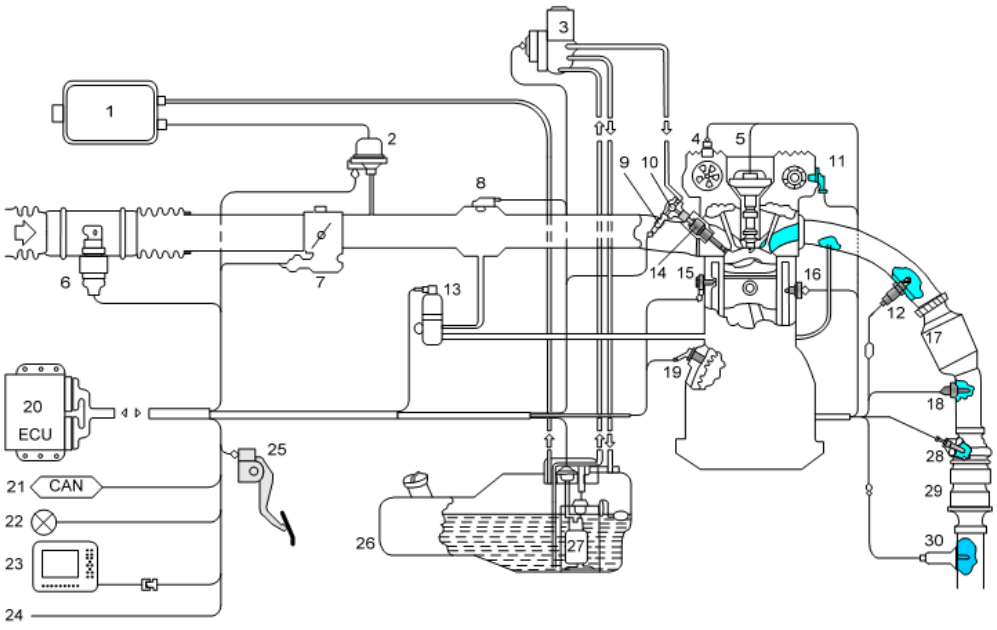
O sensor *knock* normalmente deve ser instalado próximo topo do bloco do motor mas não no topo de modo a que não capte vibrações emitidas por outros componentes como por exemplo a árvore de cames, Figura 2.51. (Al Grippo and Bruce Bowling 2013)

2.4 Sistemas Atuais

Apesar dos sistemas revistos até agora serem Bosch existem outros de sistemas de gestão e de modelos e marcas diferentes dependendo do tipo de motor e da aplicação. Não só os sistemas de gestão estão cada vez mais rápidos a nível de velocidade de processamento como também os sensores e atuadores foram desenvolvidos sempre com o objetivo de aumento de eficiência e redução de emissões de gases poluentes. (Özdalyan s.d.)

2.4.1 Motronic MED

Como sistema atual temos o sistema de gestão Bosch MED que teve como origem o sistema Motronic. Neste sistema é compreendido a evolução de sistemas de controlo relativamente a motores de ignição comandada. O termo MED é utilizado para caraterizar o sistema em que M determina o sistema de gestão Motronic, o E de acelerador eletrónico descrito anteriormente, e o D de injeção direta. A diversificação de componentes adicionais assim como mecanismos pode ser vista na Figura 2.53.



1 Canister
2 Válvula do Canister
3 Bomba de alta pressão com válvula deregulação de quantidade de injeção
4 Atuadores e sensores relativamente ao ajuste do "timing" das válvulas
5 Bobina de ignição e velas
6 Medidor de massa de ar com sensor de temperatura integrado
7 Acelerador eletrónico(EGAS) com sensor de posição
8 Sensor de pressão da admissão
9 Sensor de pressão do combustível
10 Rampa de alta pressão de combustível
11 Sensor de fase da árvore de cames
12 Sensor lambda amontante do conversor catalítico primário
13 Válvula EGR (recirculação dos gases de escape)
14 Injetor de combustível de alta pressão
15 Sensor Knock
16 Sensor de temperatura do motor
17 Conversor catalítico primário
18 Sensor lambda ajusante do conversor catalítico primário
19 Sensor de velocidade do motor
20 Unidade de gestão do motor
21 Interface CAN
22 Luz indicadora de avaria
23 Interface de diagnóstico
24 Interdace com imobilisador do sistema de gestão do motor
25 Potenciometro do pedal do acelerador
26 Depósito de combustível
27 Bomba de combustível eletrica, filtro de combustivel e regulador de pressão
28 Sensor de temperatura dos gases de escape
29 Conversor catalítico principal(acumulador de NOx com conversor catalisador de triplo efeito)
30 Sensor lambda ajusante do conversor catalítico principal

Figura 2.53 – Esquema de componentes utilizados num sistema Motronic MED adaptado de (Özdalyan s.d.)

Em relação aos sistemas de gestão em motores com injeção indireta multiponto os sistemas de gestão com injeção direta atualmente trazem vantagens a nível de eficiência e emissões de gases poluentes e potência. A utilização de sistemas de gestão em motores de injeção direta vem trazer assim as seguintes vantagens:

- evita a aglomeração de gotículas de combustível no canal de admissão quando o motor está frio;
- aumento de precisão da quantidade de injeção com a variação da carga do motor;

- redução de perdas de estrangulamento pela injeção estratificada e homogénea;
- alta eficiência térmica através da injeção estratificada e aumento da razão de compressão;
- redução de consumos e emissões de CO_2;
- redução de perdas de caloríficas;
- aumento rápido de temperatura do catalisador através da injeção durante a fase de expansão dos gases;
- aumento de desempenho e eficiência volumétrica através do arrefecimento do ar admitido;
- melhor arranque a frio do motor;
- melhor resposta do motor; (Özdalyan s.d.)

Estas vantagens são conseguidas através de novas funcionalidades do motor e consequentemente do sistema de gestão. Como exemplo temos o motor TSI da Volkswagen, dotado de um compressor em conjunto com um turbo-compressor consegue atingir prestações melhores com menores consumos e emissões relativamente a um motor de injeção indireta. (Özdalyan s.d.)

É de notar que as melhorias nestes motores são possíveis devido ao sistema de gestão eletrónico Motronic MED uma vez que este motor tem a particularidade de funcionar em carga estratificada e também em carga homogénea com mistura pobre ou estequiométrica. Esta particularidade requer que novas funcionalidades, actuadores e sensores sejam implementados no sistema de gestão.

Tabela 2.2 – Comparação entre motores de injeção indireta e motores com injeção direta com sistemas Motronic, adaptado de (Özdalyan s.d.)

Motor	Cilindrada (cm^3)	Potencia máxima (kW)	Binário máximo ($N.m^{-1}$)	Tipo de injeção	Consumo urbano (L/100km)	Consumo extra-urbano (L/100km)	Emissões de CO_2 (g/km)
Gasolina	1600	75	148	Injeção indireta	10,5	6,0	179
Gasolina TSI	1400	90	200	Injeção direta	8,6	5,5	157

Em termos de controlo de emissões este sistema dispõe de dois conversores catalíticos, de modo a transformar os gases poluentes em não poluentes. A necessidade de dois conversores reside na particularidade de funcionamento do motor em carga estratificada, em que o primeiro catalisador trata os gases durante o funcionamento em carga homogénea e o segundo catalisador funciona como recipiente de NOx.

Ainda para controlar a injeção em malha fechada e garantir o bom funcionamento do sistema de conversão de gases são utilizados 4 sensores. A montante do primeiro catalisador existe um sensor lambda "Wide-band". Este sensor diferencia-se dos sensores lambda convencionais pelo fato de conseguir quantificar o teor de oxigeno presente nos gases de escape, e assim fazer ajustes na injeção durante o funcionamento em carga homogénea com mistura pobre. Os restantes sensores lambda são necessários de modo a diagnosticar falhas na conversão de gases. Já o sensor de temperatura de gases de escape é utilizado para determinar a temperatura do catalisador de NOx e ativar a recirculação de gases de escape (EGR) de modo a reduzir as emissões de NOx com a exceção de quando existem cargas elevadas. (Özdalyan s.d.)

Em termos de injeção, o este sistema de gestão também implementa novas funcionalidades. Sendo que o sinal do pedal do acelerador representa um binário requerido pelo condutor, cabe ao sistema de gestão determinar a quantidade de injeção necessária tendo em

conta os parâmetros de funcionamento do motor nesse instante de entre os mais relevantes a quantidade de ar admitida e a velocidade do motor.

Em termos de carga, o motor tem três estados de funcionamento, carga estratificada, mistura homogénea pobre e mistura homogénea estequiométrica, Figura 2.54.

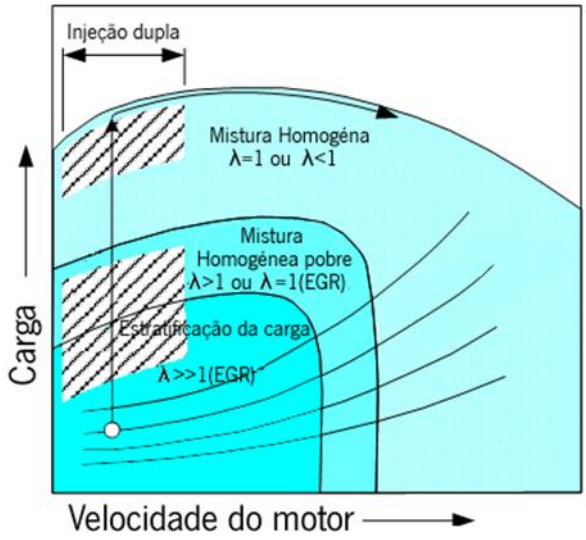


Figura 2.54 – Estados de mistura relativos a motores de injeção direta, adaptado de (Özdalyan s.d.)

Durante o funcionamento em carga estratificada a injeção é atrasada, ou seja é feita durante a compressão. A injeção durante a compressão é possível devido ao facto do combustível ser injetado a altas pressões ajudando o processo de vaporização e atomização, Figura 2.55.

Este modo é utilizado em baixas velocidades do motor e em baixas cargas resultando num menor consumo de combustível. Devido à relação ar-combustível ser superior a 65:1, resultando em baixas emissões de NOx o sistema de gestão ativa a recirculação de gases de escape que permite a redução destes uma vez que o catalisador não consegue eliminar.

A mistura homogénea estequiométrica rica é utilizada em acelerações, em carga máxima e em altos regimes. Neste modo a injeção e feita durante a admissão de ar para o cilindro. Uma vez que a mistura tende para a estequiometria as emissões de NOx são altas contudo o catalisador elimina 99% e a recirculação de gases de escape é desativada.

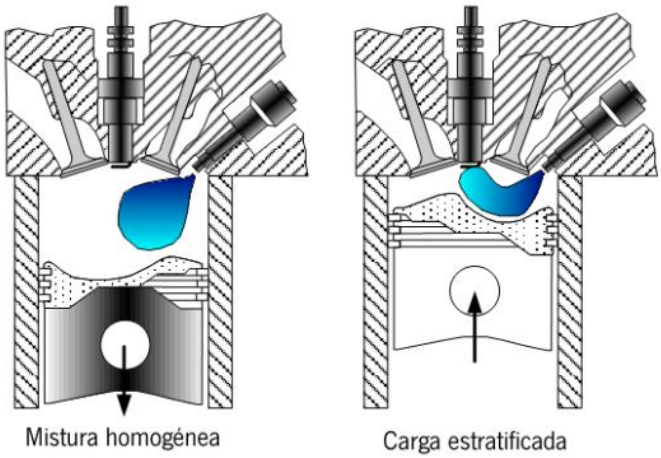


Figura 2.55 – Funcionamento com mistura homogénea e em carga estratificada (Özdalyan s.d.)

Por último, em mistura homogénea pobre, o sistema de gestão optimiza a injeção de modo a reduzir consumos, que é utilizado em cargas e regimes moderados. A injeção é feita durante a admissão de ar para o cilindro salvo quando em acelerações. Durante acelerações quando é requerido mais binário do motor, principalmente em baixos regimes a quantidade injetada é dividida por duas injeções. A primeira injeção, feita durante a admissão constitui quase toda a quantidade injeta. A segunda injeção, uma pequena porção da quantidade, é feita durante a compressão de modo a reduzir a fumo proveniente da combustão. A injeção por estágios pode ser utilizada pelo sistema de gestão para aquecer rapidamente o catalisador no modo de mistura estratificada uma vez que a combustão lenta origina aumento de temperatura dos gases.

Estes estados de funcionamento podem ser vistos em mais detalhe na Figura 2.54.

Como referido anteriormente as melhorias nestes motores é possível através de sistemas de gestão Motronic MED, contudo o sistema de gestão necessita de atuadores e sensores que contribuem para um resultado ótimo.

Nota-se que a geometria da câmara de combustão ou do próprio pistão são desenhados para que o sistema em modo de mistura estratificada funcione. Ainda, para variação da eficiência volumétrica são utilizados dois mecanismos de admissão forçada, um compressor e um turbo-compressor e o avanço variável do "*timing*" das válvulas controlado pelo sistema de gestão.

A utilização de controlo em malha fechada é implementada em vários sistemas, como por exemplo no controlo de pressão da rampa de modo a aumentar a precisão de injeção.

Relativamente ao controlo de injeção, a injeção por fases apresenta vantagens, no que diz respeito ao controlo do processo de combustão. Atualmente já estão implementados injetores piezo-elétricos – Mercedes-Benz CLS 350 CGI e em motores Diesel há cerca de uma década. Estes tipos de injetores, em comparação com os tradicionais injetores eletromagnéticos, são mais rápidos cerca de 5 vezes, resultando num aumento de desempenho. (Özdalyan s.d.)

Já o controlo de ignição durante o estado estratificado da mistura é dificultado devido às altas temperaturas dentro da câmara de combustão. Estas temperaturas podem causar falhas na ignição da mistura. Contudo, para resolução deste problema, existem algumas marcas que vêm a desenvolver métodos de ignição alternativos, como por exemplo a Mazda e o sistema de ignição por laser. (Özdalyan s.d.) (Motor Dream 2011)

2.4.2 OBDII

O OBD - *On-board Diagnostics* surgiu como sistema de deteção de falhas no sistema de gestão. Primeiramente em 1988, na sua primeira versão, o sistema dispunha de rotinas de modo a detetar pequenas avarias elétricas como por exemplo a válvula EGR. À medida que os sistemas de gestão do motor evoluíram eletronicamente, o OBD também evoluiu, sendo introduzido o OBDII em 1996 nos EUA e o seu equivalente EOBD em 2004 na europa. Este novo sistema introduzia a proteção do catalisador, através da análise de dois sensores lambda, um antes do catalisador e um a jusante de modo a avaliar o processo de conversão de gases poluentes. Ainda, este faz testes de racionalidade, isto é, o sistema conhece as gamas de cada sensor e determina a o bom funcionamento destes relativamente a outros sensores e a valores esperados predefinidos. Por exemplo a perda de conetividade de um sensor gera uma avaria pelo sistema de diagnóstico. A deteção desta é efetuada através dos testes de racionalidade, em que a variação do sensor é esperada com a variação de outros parâmetros de funcionamento do motor dentro de um determinado intervalo. (Martins 2013)

Tal como no sistema de gestão Motronic, as avarias são guardadas na memória no sistema para futura resolução. Quando a avaria surge, é assinalada no painel de instrumentos através da luz indicadora de avaria, podendo ainda em sistemas mais avançado, indicar por meio de um

mostrador alfanumérico mais detalhes relativamente à avaria detetada. Digitalmente a avaria é armazenada em formato de código de cinco dígitos em sistemas com OBDII, em que a sua combinação descreve a avaria, Figura 2.56. (Martins 2013)

Em sistemas com OBDII existe uma ficha de ligação composta por 16 pinos, Figura 2.57. Esta ficha tornou-se comum a todos os automóveis de modo a que se possa efetuar diagnósticos com apenas um aparelho em todos eles. Atualmente esta ficha constitui uma porta aberta a todos os sistemas de um automóvel que torna possível o teste de actuadores e atualização do *firmware* das várias unidades de controlo, por exemplo módulo de controlo ABS - *Antiblockier-Bremssystem* e módulo do Airbag. A afirmação anterior baseia-se no facto da porta OBDII ser multiprotocolo, na qual está exposta a rede CAN (*Controler Area Network*) que interliga as várias unidades de controlo incluindo o sistema de gestão do motor. (McLaughlin s.d.)

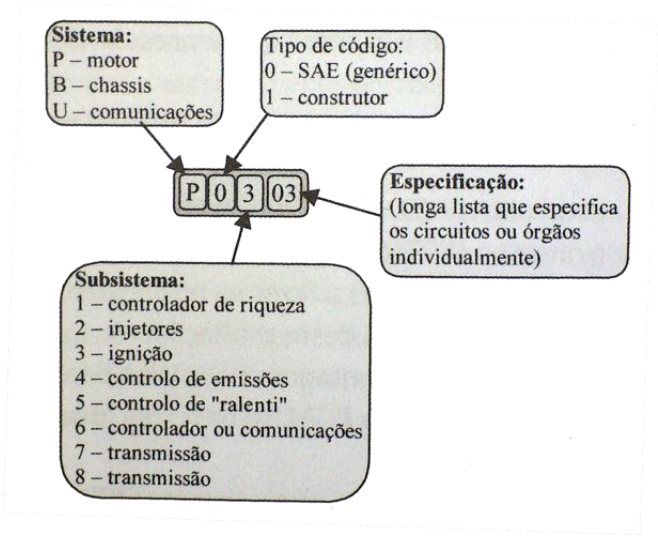


Figura 2.56 – Sistema de código OBDII reproduzido de (Martins 2013)

Figura 2.57 – Ficha OBDII, reproduzido de (Goodwin 2010)

3 ANÁLISE DO PROBLEMA

Para proceder à escolha de um sistema de gestão assim como os seus componentes foi necessário compreender o motor relativamente ao funcionamento mecânico em que vai ser transformado assim como os requisitos do sistema.

Tendo em conta uma das inconveniências relativas aos veículos elétricos (falta de autonomia), o *range extender* vem potenciar a utilização deste tipo de veículos.

Em veículos elétricos o *range extender é* constituído por um gerador de energia elétrica acoplado a um motor de combustão interna. Nestes sistemas a energia produzida pelo gerador depende a velocidade de rotação do motor de combustão.

Mecanicamente o processo de transformação do motor de ciclo *Otto* para o ciclo *Miller* consiste na alteração do mecanismo de abertura das válvulas e rebaixamento do bloco. Em relação à transformação do ciclo do motor, o ciclo *Miller* LIVC é caraterizado facto da válvula de admissão fechar durante a fase de compressão levando a que parte do ar admitido seja reposto no canal de admissão.

3.1 MOTOR

O motor imposto para a realização da transformação foi um motor proveniente de uma moto da marca BMW modelo K75. As especificações do motor podem ser vistas na Tabela 3.1.

A gestão do motor é efetuada através de um sistema de controlo de injeção juntamente com o módulo de ignição eletrónico sem distribuidor. O sistema de controlo de injeção foi identificado sendo este Bosch L-Jetronic já descrito no capítulo anterior. Já o controlo da ignição é efetuado através de um módulo de ignição Bosch.

Tratando-se de um sistema de controlo L-Jetronic, o sistema de medição do caudal de ar constitui um impedimento na adaptação do sistema de gestão do motor. Este problema surge durante a fase de compressão em que existe fluxo de ar no sentido oposto ao qual a comporta não foi concebida para medir.

Tabela 3.1 - Características do motor BMW K75.(Adaptado de (Hawksley 2013))

Tipo de Motor	Motor de três cilindros em linha a quatro tempos com dupla árvore de cames à cabeça
Cilindrada	740 cm^3
Potência máxima	55 kW
Taxa de compressão	11.0:1
Sistema de Injeção	Bosch L-Jetronic
Sistema de Ignição	Ignição electrónica
Ordem de ignição	1-3-2

A Figura 3.1 ilustra o sistema de medição do sistema L-Jetronic, no qual se repara que na inversão do fluxo de ar resulta no fecho da comporta para a posição de repouso da mesma. A comporta fechada iria criar restrições à passagem do fluxo de ar funcionando como uma válvula antirretorno e não conseguindo quantificar a quantidade de ar. Ainda durante o funcionamento do motor a comporta esbarraria violentamente e sucessivamente contra o batente da posição de repouso da comporta acabando por se danificar.

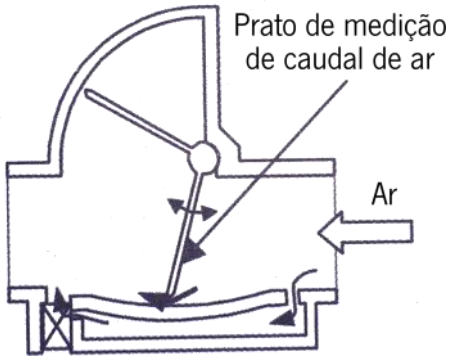


Figura 3.1 – Caudalímetro do sistema L-Jetronic adaptado de (Martins 2013)

No que diz respeito ao controlo de injeção existe também o inconveniente deste não permitir a afinação das quantidades de injeção necessárias ao funcionamento do motor no ciclo *Miller*. Tratando-se de um sistema L-Jetronic sem sensor lambda o ajuste da mistura em malha fechada também não é possível, representando um problema, uma vez que foram definidas duas velocidades de funcionamento do motor com *range extender*, sendo elas 3500rpm e 7000rpm nomeadamente.

A unidade de controlo de ignição também impõe uma limitação. Sendo um sistema proprietário Bosch a unidade de controlo não permite a regulação de avanços de ignição, os quais se determinam significativos na eficiência da combustão.

3.2 SOLUÇÕES

Em resolução dos problemas determinados pela análise do sistema de controlo de injeção e ignição foi imposto a utilização de um sistema de gestão modular programável já existente no laboratório denominado MegaSquirtII V3.0.

4 PROJETO DE INSTALAÇÃO MEGASQUIRTII

Este capítulo engloba todas as modificações necessárias ao novo sistema de gestão, assim como a escolha dos sensores relativos ao sistema MegaSquirtII.

Devido à extensa informação relativa ao Hardware e Software do MegaSquirtII apenas vão ser descritos as etapas essenciais para que o processo de modificação e adaptação sejam compreendidos.

4.1 MEGASQUIRTII

Através da documentação consultada sobre o MegasquirtII em (Grippo 2013) nota-se que a sua aplicação é flexível e permite a aplicação em motores das mais variadas marcas existentes. Este tem vindo a ser desenvolvido existindo atualmente uma terceira versão que engloba ainda mais flexibilidade, mais sistemas de controlo e um aumento de velocidade de processamento.

A MegaSquirtII é composta por uma unidade de processamento e uma placa de potência para controlo de actuadores, interface e condicionamento de sinal dos sensores denominada de V3.0. De uma forma geral o sistema e todos os componentes necessários ao seu funcionamento, diagnóstico e programação podem ser vistos na Figura 4.1.

A placa de processamento MC9S12C64 representa o "cérebro" do sistema. É nesta placa que está instalado o microcontrolador responsável por todos os cálculos do sistema o que inclui tempos de injeção e avanço de ignição, entre outros. É neste que foi instalado o *firmware* que contêm todas as rotinas de cálculo de parâmetro e definição de I/O's. O *firmware* instalado na placa de processamento foi o "ms2extra 3.2.4"

Para a instalação do *firmware* foi necessário a utilização de um cabo de comunicação Série USB existente no laboratório, o qual foi instalado no sistema MegaSquirtII de acordo com (Murray 2013).

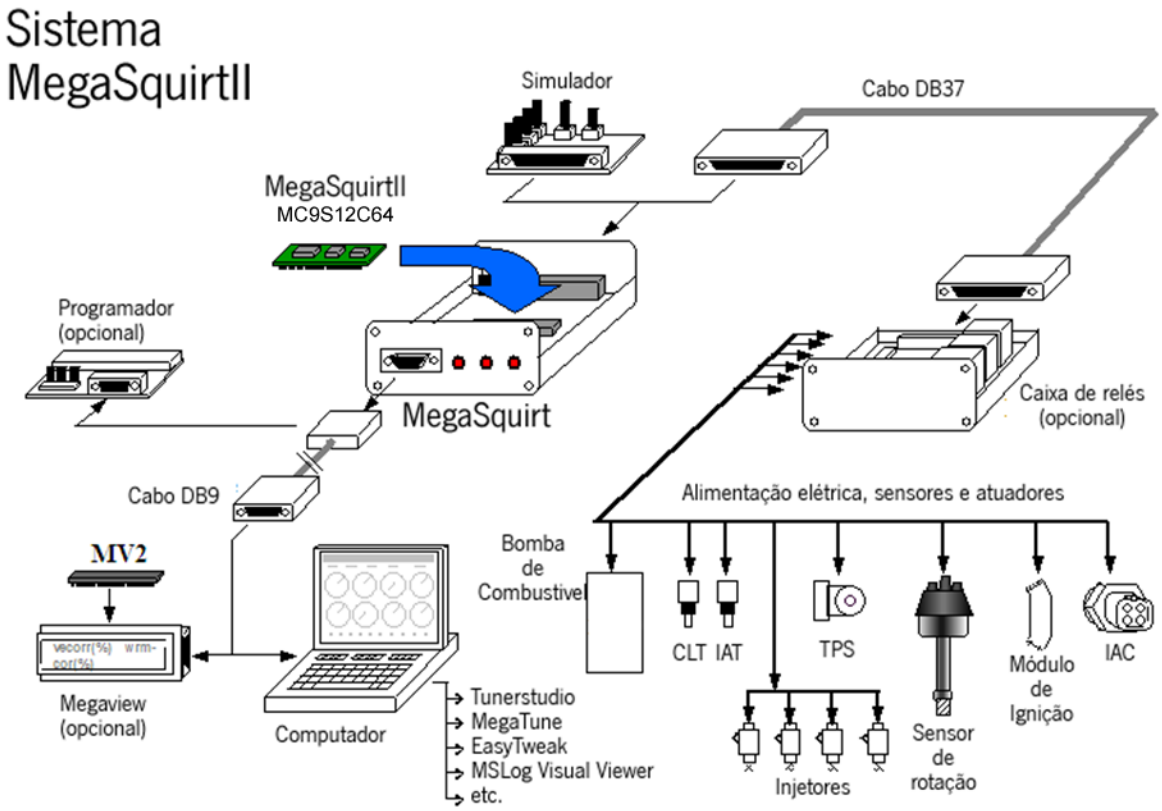


Figura 4.1 – Sistema MegaSquirtII, adaptado de (Al Grippo and Bruce Bowling 18)

4.2 SENSORES

Os sensores necessários foram escolhidos tendo em conta a compatibilidade com o sistema MegaSquirtI a partir da análise de funcionamento da MegaSquirtII disponível por (Bruce Bowling 2013).

4.2.1 Sensor de Temperatura do Motor

O sensor de temperatura do motor utilizado neste sistema foi proveniente do sistema original. A referência Bosch do sensor é a 0280130032 e a referência BWM a 61311459197. Este sensor de temperatura é do tipo termístor NTC – *Negative Temperature Coeficient*, e tem a curva característica ilustrada na Figura 4.2.

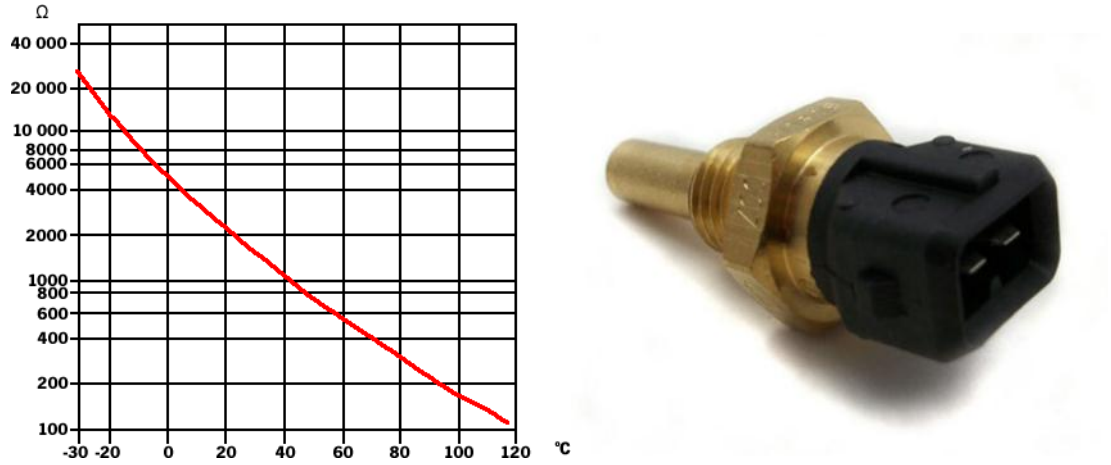


Figura 4.2 – Curva característica do sensor Bosch 0280130032 (Volvo Car Corporation 1988)

4.2.2 Sensor de Temperatura do Ar de Admissão

De modo a reaproveitar os componentes do sistema anterior, o sensor de temperatura de admissão de ar derivou do sistema original. Para a adaptação o sensor foi retirado do medidor de caudal de ar original seguida da instalação de um conector de aplicação automóvel de ligação fácil à cablagem, e posteriormente fixado num tubo de dimensões específicas para o encaixe no canal de admissão, Figura 4.3.

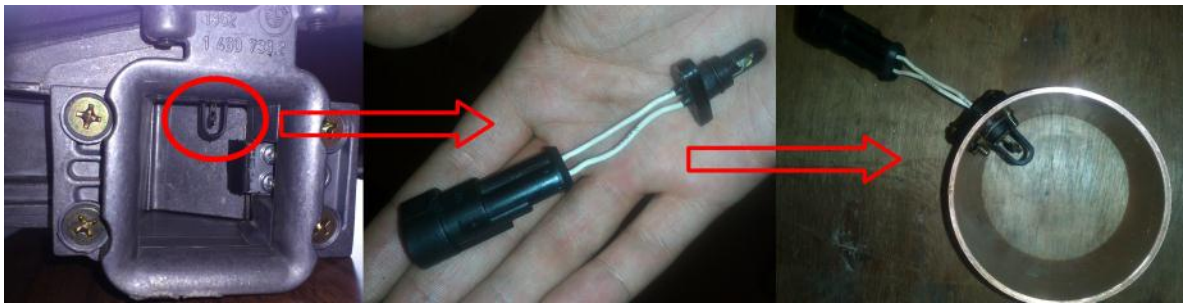


Figura 4.3 – Sensor de temperatura do ar de amissão

4.2.3 Sensor do Acelerador

O sensor do acelerador para a MegaSquirtII terá de ser obrigatoriamente um sensor que traduza a posição do acelerador linearmente sob forma de tensão elétrica, o que significa que o sensor original do sistema não pode ser aplicado. O sensor escolhido é da marca Bosch com a referência 0280122001. Este sensor foi reaproveitado de componentes existentes no laboratório

tendo ainda a particularidade de ser geometricamente semelhante ao sensor da instalação anterior, o que facilita à instalação, Figura 4.4.

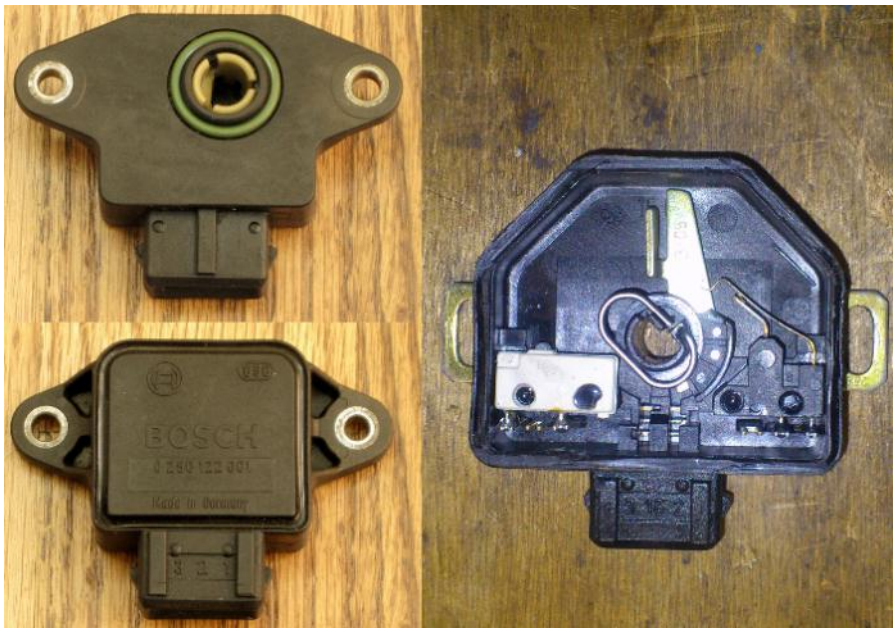


Figura 4.4 – Comparação entre o formato dos sensores de posição do acelerador, do lado o novo sensor e lado direito o sensor do sistema original.

De modo a alinhar o encaixe o eixo do potenciómetro com o eixo do acelerador foi construído um suporte de fixação intermédio, Figura 4.5, que também permite algum ajuste do desfasamento do potenciómetro em relação aos limites de posição do acelerador.

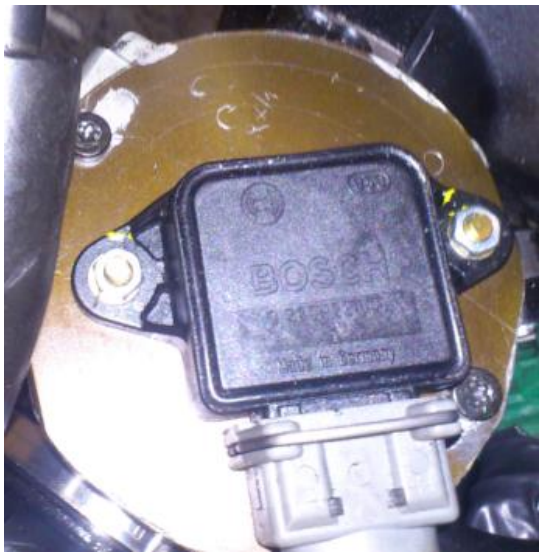


Figura 4.5 – Sensor do acelerador instalado no motor.

4.2.4 Sensor de Posição da Cambota

O sensor de posição de cambota evolveu mais trabalho visto que o novo sistema de controlo (*firmware*) não dispor de algoritmos de modo a tratar o formato do sinal produzido pelo sensor de posição de cambota original. Assim foi necessário projetar um novo *encoder*[6] com a respetiva placa sensorial.

A ideia tendo em conta as possibilidades do sistema de gestão consultadas em (Culve 2013) é utilizar dois sensores com uma roda codificadora que possibilite ao sistema a ignição sequencial, reutilizando o espaço do sensor de posição de cambota original, Figura 4.6.

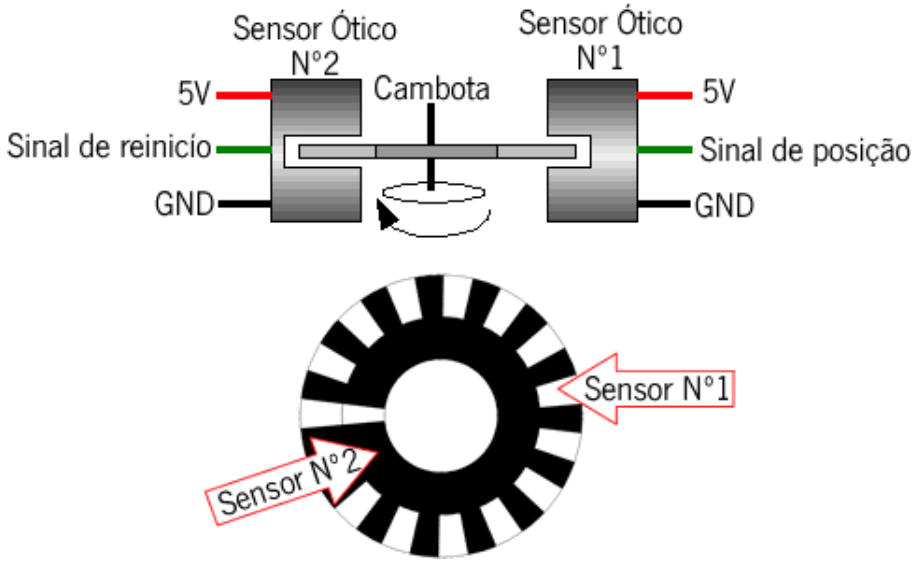


Figura 4.6 – *Encoder*

Analisado o espaço disponível à instalação do sensor, foram escolhidos sensores óticos devido ao seu tamanho reduzido relativamente a outros tipos de sensores. Depois de escolhidos os sensores foi projetada a roda codificadora tendo em conta os algoritmos de descodificação do sinal, as dimensões do alojamento do *encoder* e as condições de funcionamento. A Figura 4.7 ilustra a roda codificadora projetada no *software* Autodesk Inventor 2011.

[6] Dispositivo que permite a traduzir impulsos elétricos numa posição.

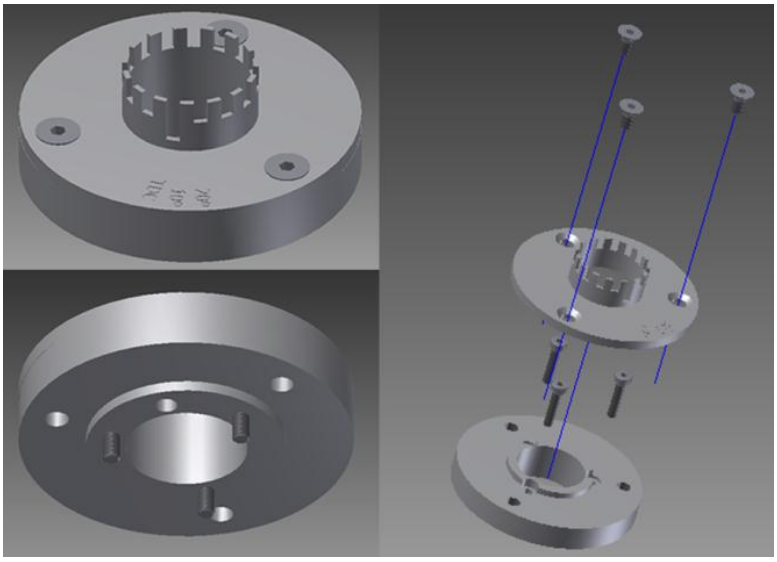


Figura 4.7 – Roda codificadora.

Da Figura 4.7 nota-se a existência de uma coroa dentada uniforme constituída por 15 dentes para determinação da posição pelo sistema de gestão e uma falha entre dois dos dentes da coroa que indica ao sistema de gestão o PMS do cilindro nº1, ou seja o reinício de cada rotação da cambota.

Depois de projetados os componentes do mecanismo codificador foi elaborado o desenho técnico, disponível para consulta no Anexo B, e escolhido o alumínio como material para o fabrico dos componentes principais devido à "fácil" maquinagem, resistência à temperatura e baixo custo. A Figura 4.8 ilustra o resultado do processo de maquinagem das peças para o mecanismo codificador.

Figura 4.8 – Roda codificadora maquinada.

Como referido anteriormente foram escolhidos sensores óticos na construção do sensor de posição de cambota. Estes sensores são díodos infravermelhos constituídos por um conjunto receptor-emissor provenientes de equipamentos inutilizados e encontrados no laboratório.

A placa de circuito foi projetada através do *software* EAGLE através da elaboração do circuito e seguidamente do *rendering* da placa com as pistas do circuito, Figura 4.9. Para a construção da placa foi utilizado o método de *etching* para o fabrico das pistas. O restante processo de construção envolveu o corte de uma chapa de modo a permitir a fixação no motor e o alinhamento dos sensores com a coroa do mecanismo codificador. O resultado da placa de fixação juntamente com a instalação dos sensores pode ser vista na Figura 4.10.

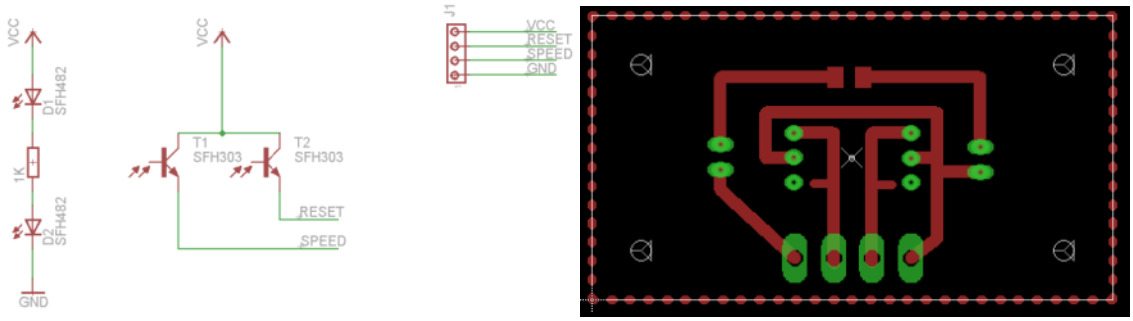


Figura 4.9 – Esquema eletrónico do sensor de posição da cambota à esquerda, barramento do circuito do sensor de posição de cambota à direita.

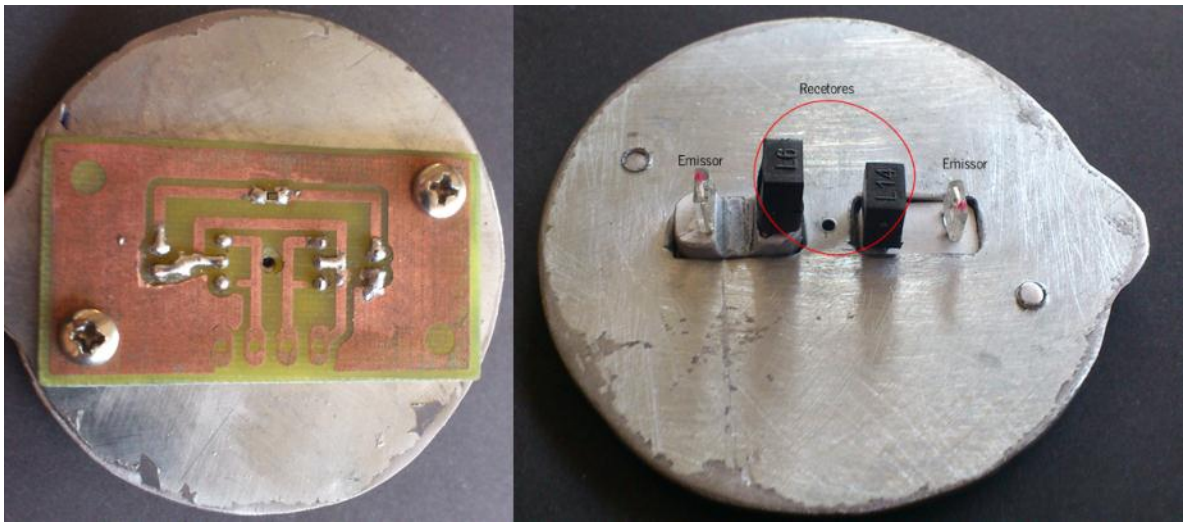


Figura 4.10 – Placa de fixação com os sensores de posição de cambota.

4.2.5 Sensor Lambda *Wideband*

Como sensor lambda foi reutilizado o controlador juntamente com sensor lambda proveniente do veículo BebUMlitro presente no laboratório. O controlador utilizado é da marca Motec modelo PLM, e sensor lambda Bosch LSU4 que podem ser vistos na Figura 4.11.

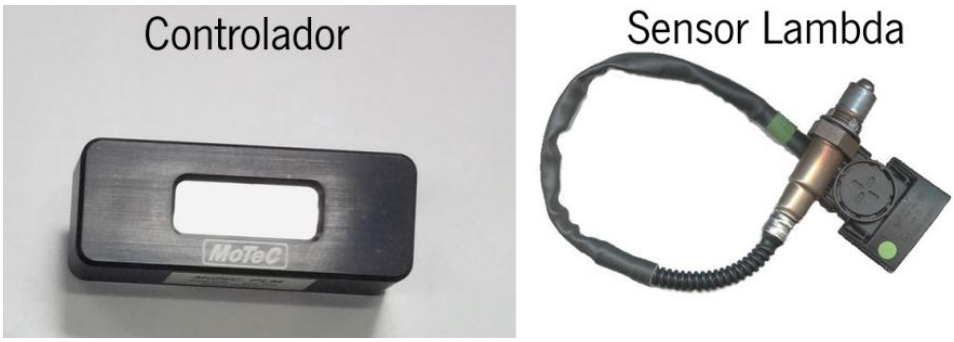


Figura 4.11 – Controlador Motec PLM e sensor lambda Bosch LSU4 (Tech Edge 2013)

De modo a ligar o sinal do controlador ao sistema foi necessário consultar o manual em (Motec 2005) através do qual se procedeu à modificação de uma ficha macho DB9 com as ligações necessárias para o sistema MegaSquirtII, Figura 4.12. Nestas ligações o pino n°9 da ficha fêmea DB9 do controlador denominado de "Analog out –" foi ligado à massa (Comms 0V) e o pino n°8 da mesma ficha denominado pelo manual "Analog out +" deixado desligado para que se pudesse ligar no processo de construção da cablagem. Ainda foi necessário ter em conta a informação relativamente à amplitude máxima do sinal gerado pelo controlador e à tensão máxima do *Input* da MegaSquritII que revelou serem iguais – 5V.

Figura 4.12 – Ficha modificada de ligação ao controlador Motec PLM

4.3 PLACA V3.0

De modo a que os sinais consigam ser interpretados pela placa de processamento é necessário que estes sejam condicionados. A placa V3.0 dispõe dos principais circuitos de condicionamento dos sinais assim como os componentes de potência que tem a função de *drivers* elétricos dos actuadores. As modificações necessárias incidiram na seleção e adaptação do circuito de condicionamento do sinal de posição de cambota e no circuito de ignição nomeadamente. Ainda estas modificações foram efetuadas tendo em conta as inscrições na placa V3.0 com a ajuda do *layout* da board V3.0, Figura 4.13.

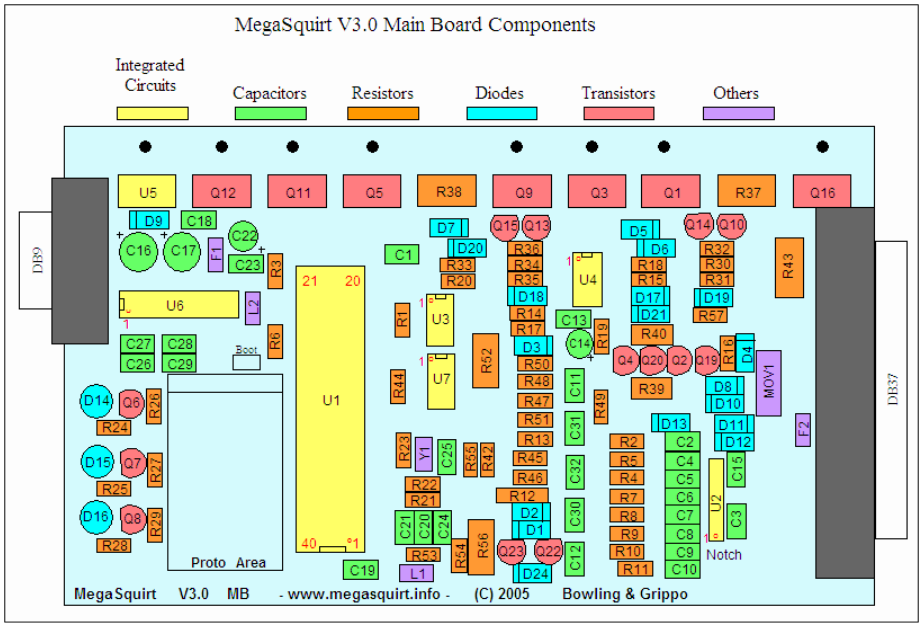


Figura 4.13 – *Layout* da placa V3.0 (Bruce Bowling, MegaSquirtII - Assembling Your MegaSquirt V3.0 Main Board 2013)

4.3.1 Circuito do Sensor de Posição da Cambota

Para que o sistema MegaSquirtII consiga interpretar o sinal do sensor de posição de cambota foram feitas as seguintes alterações seguidas as instruções em (James Murray 2013):

1. Instalação de um *jumper* entre VROUT e TSEL;
2. Instalação de um *jumper* entre TACHSELECT e VRIN;
3. Instalação de uma resistência *Pull-up* 5V a VRIN com o valor de 2,2 kOhm;

4. Rodar os potenciómetros R52 e R56 no sentido anti-horário até ouvir um estalido, rodar R56 seis voltas no sentido horário;

5. Instalação de um *jumper* entre JS9 e S12C;

6. Instalação de um *jumper* entre JS10 e IGN (sensor do came).

Os resultados das alterações da placa podem ser vistos na Figura 4.14 e Figura 4.15.

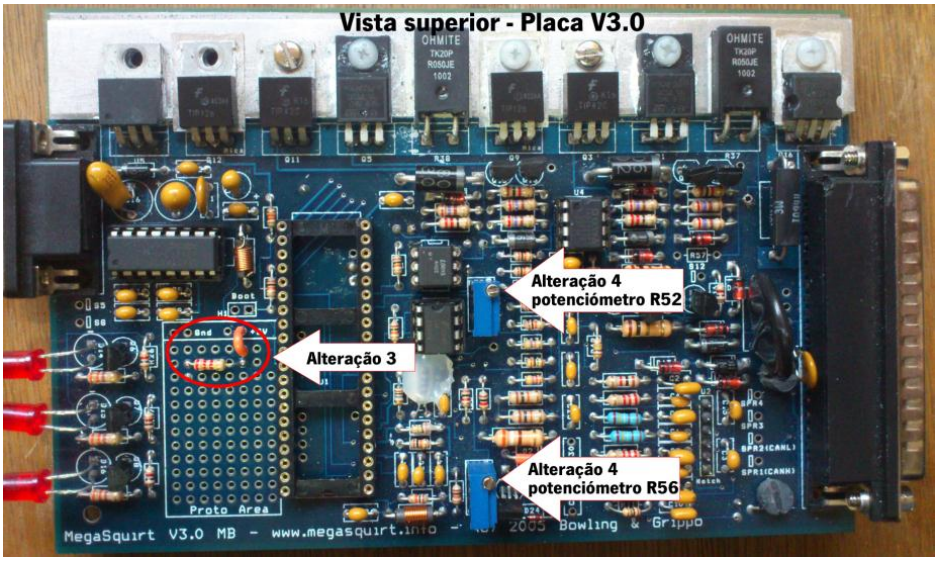


Figura 4.14 – Placa V3.0 alterada, vista superior

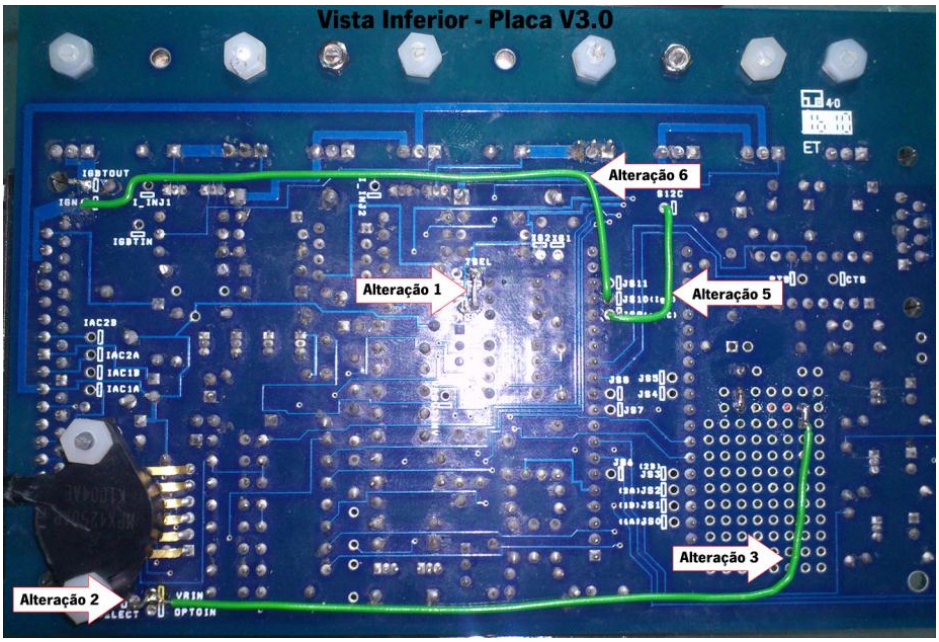


Figura 4.15 - Placa V3.0 alterada, vista inferior

4.3.2 *Drivers* de Ignição COP – *Coil On Plug*

Visto que o sistema original não dispõe de distribuidor mas de uma unidade de controlo de ignição com uma bobine para cada vela (COP – *Coil On Plug*) é necessário instalar novo *hardware* para o controlo de ignição. Os componentes eletrónicos necessários foram:

- 3 x VB921;
- 3 x Resistências de 330 Ohm;
- 1 x Ficha macho DB15;

Como referência de ligação dos componentes à placa foram consultadas as instruções em (James Murray, Megasquirt (V3.0 board) - Spark/ignition output 2013), o *layout* da Figura 4.16 e o *datasheet* do IGBT – *Insulated-gate Bipolar Transistor* VB92.

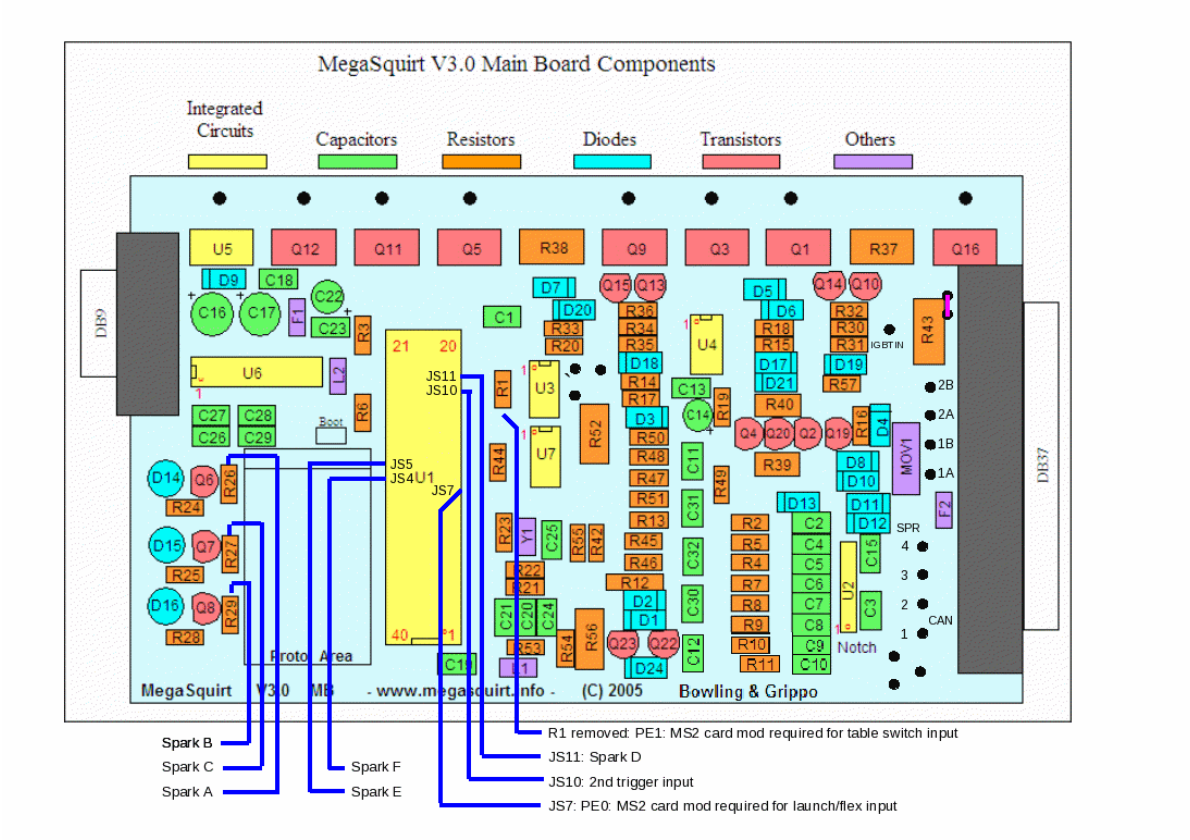


Figura 4.16 – *Layout* com as saídas de controlo para a ignição, *Spark A, Spark B* e *Spark C* (James Murray, Megasquirt (V3.0 board) - Spark/ignition output 2013)

Devido ao componente VB921 gerar calor estes foram obrigados a ser instalados de modo a que o calor seja dissipado, assim o local escolhido foi a parte inferior da placa V3.0 na área onde estão situados maior parte dos componentes de potência. A fixação destes foi feita com novos conjuntos de parafuso/rosca de *nylon* de modo a que não haja curto-circuito dos componentes já instalados na parte superior da placa. Ainda de modo a que o calor seja dissipado com mais eficiência foi cortado um segmento de chapa de alumínio e instalado entre os IGBT's e a placa com a adição de pasta térmica. O resultado da instalação pode ser visto na Figura 4.17.

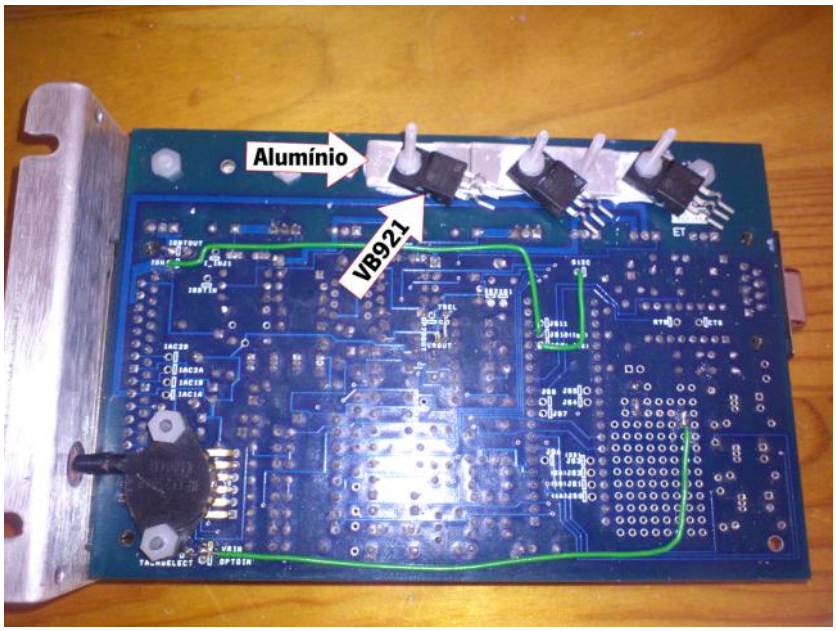


Figura 4.17 – Placa V3.0 com os IGBT's de controlo das bobinas fixados

Em seguida foram instaladas as resistências de controlo dos IGBT's na *Proto Area* da placa V3.0. Para a instalação destas resistências foram removidos componentes desnecessários à placa V3.0 para este sistema. A figura Figura 4.18 ilustra a instalação das resistências já com os componentes desnecessários removidos.

Por fim foram ligados os componentes à placa e à ficha DB15 de interligação às bobinas de ignição tendo atenção à espessura dos cabos e ao isolamento destes. Uma vez que as bobinas estão sempre polarizadas sendo o IGBT que fecha o circuito é necessário que os emissores dos IGBT's tenham um bom ponto de massa, isto é, uma ligação ao polo negativo da bateria com boa condutividade. O ponto de massa escolhido é mostrado na Figura 4.17 juntamente com o resultado da instalação.

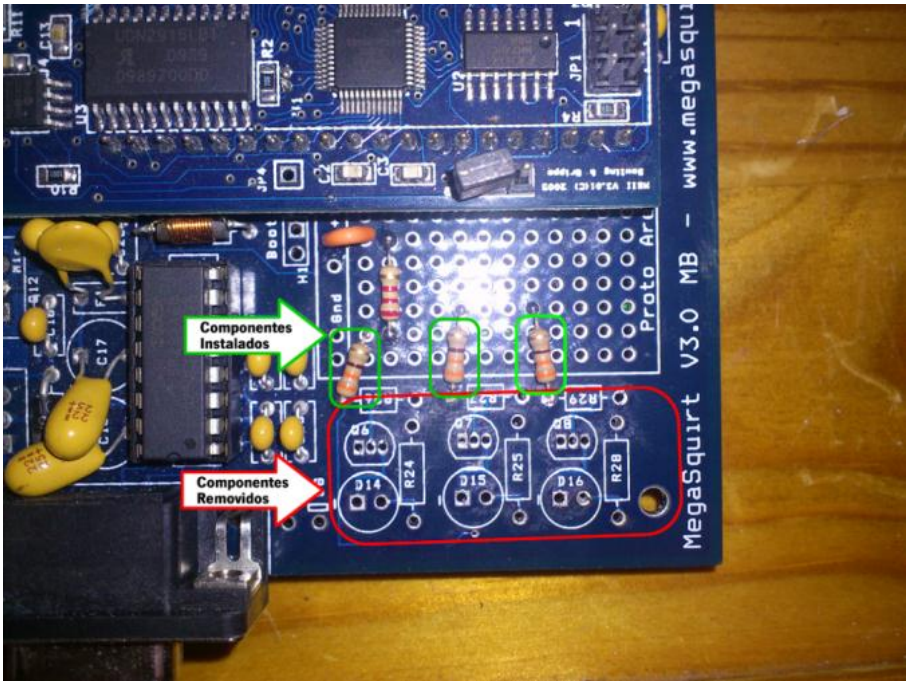


Figura 4.18 – Instalação das resistências de controlo dos IGBT's na *Proto Area*

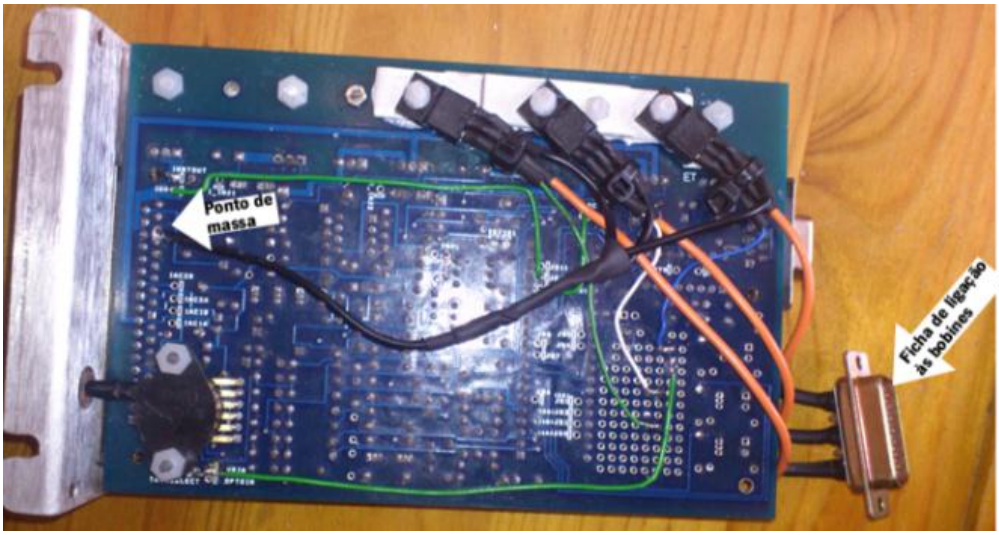


Figura 4.19 – Placa V3.0 IGBT's para a ignição COP e ficha de ligação às bobinas

4.4 CABLAGEM

Para a construção da cablagem foi projetado primeiramente o esquema elétrico de acordo com os sensores e actuadores. O modelo do esquema elétrico da cablagem foi baseado em (Bruce Bowling, Megamanual - Wiring and Sensors 2013) e através de um inventário de cabos disponíveis para a cablagem (cores dos cabos disponíveis) que pode ser visto na Figura 4.20.

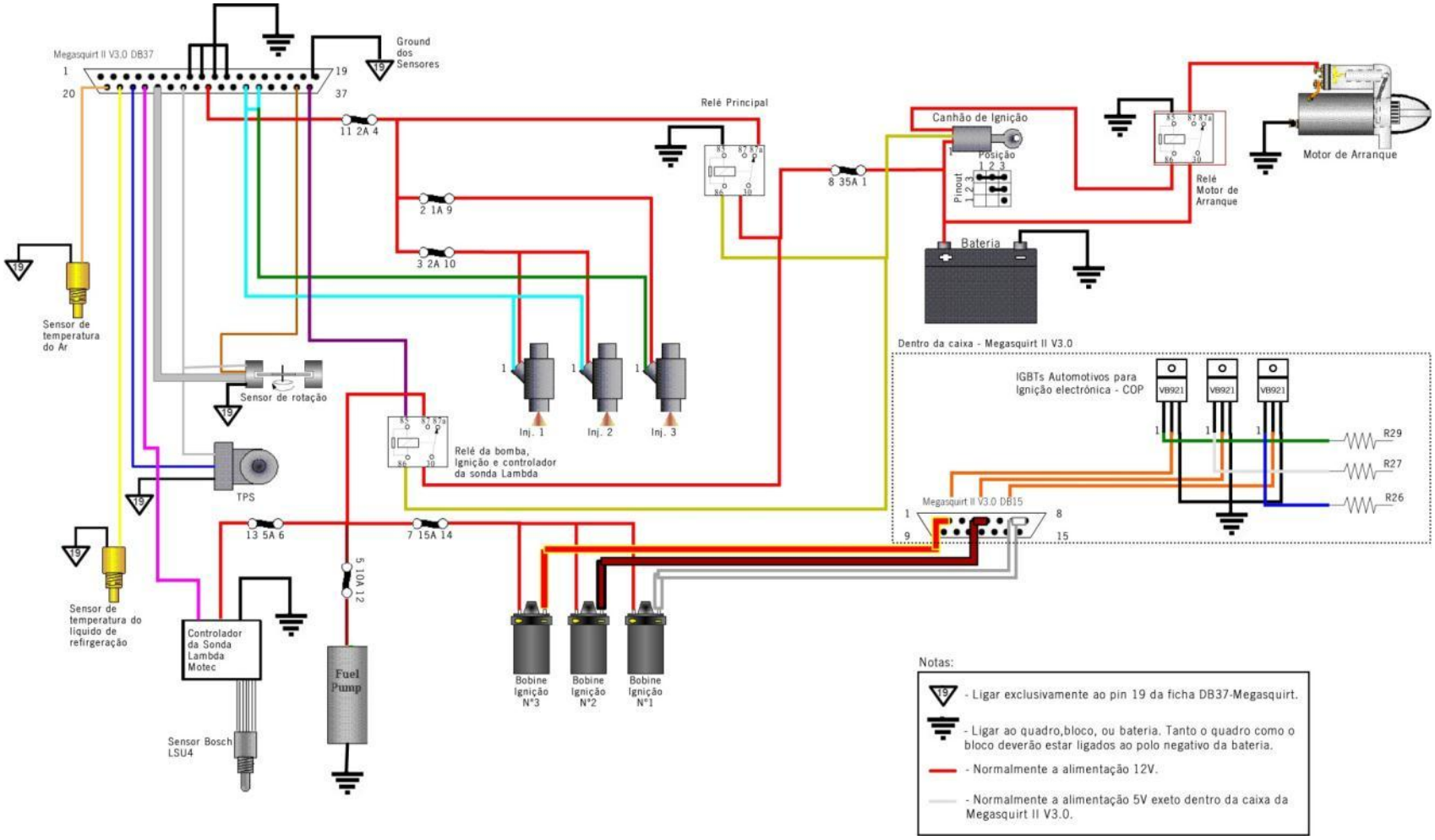

Megasquirt II V3.0 DB37
Ground dos Sensores
Relé Principal
Canhão de Ignição
Posição
Pinout
Relé Motor de Arranque
Motor de Arranque
Bateria
Sensor de temperatura do Ar
Sensor de rotação
TPS
Relé da bomba, Ignição e controlador da sonda Lambda
Inj. 1
Inj. 2
Inj. 3
Dentro da caixa - Megasquirt II V3.0
IGBTs Automotivos para Ignição electrónica - COP
VB921
R29
R27
R26
Megasquirt II V3.0 DB15
Sensor de temperatura do liquido de refrigeração
Controlador da Sonda Lambda Motec
Sensor Bosch LSU4
Fuel Pump
Bobine Ignição N°3
Bobine Ignição N°2
Bobine Ignição N°1
Notas:
- Ligar exclusivamente ao pin 19 da ficha DB37-Megasquirt.
- Ligar ao quadro,bloco, ou bateria. Tanto o quadro como o bloco deverão estar ligados ao polo negativo da bateria.
- Normalmente a alimentação 12V.
- Normalmente a alimentação 5V exeto dentro da caixa da Megasquirt II V3.0.

Figura 4.20 – Esquema da cablagem MegaSquirtII

Depois da elaboração do esquema foi construída a cablagem através de um *kit* de cabos para elaboração de cablagem para a MegaSquirtII. Este *kit* é constituído por cabos de cor correspondentes aos do esquema e uma ficha fêmea DB37 à qual foram apenas soldados os cabos necessários para o sistema.

No processo de construção foi incluído um suporte de fusível, Figura 4.21 e três suportes de relés, Figura 4.22, reaproveitados de cablagens existentes no laboratório.

Para a ligação do sensor de temperatura do líquido de arrefecimento, injetores e sensor do acelerador foram também reaproveitados conectores de cablagens existentes no laboratório.

Figura 4.21 – Suporte de fusíveis

Já em relação aos conectores do sensor de temperatura do ar de admissão e sensor de posição da cambota tiveram de ser adquiridos, optando por conectores de emprego automóvel, Figura 4.23.

A ligação do sinal do controlador Motec PLM foi efetuada por um conector tipo molex de uma via.

A ligação do circuito de ignição foi feita através do quadro de suporte do motor, das fichas originais do sistema e de uma ficha fêmea DB15.

Figura 4.22 – Suporte de relé

Figura 4.23 – Ficha do sensor de posição de cambota

É de referir que a toda a cablagem foi derivada do esquema elétrico da cablagem projetado e sendo assim o código cores dos fios condutores foram respeitadas.

A cablagem completa não é ilustrada devido à necessidade de conectores da instalação original.

5 PREPARAÇÃO LABORATORIAL

Após a montagem do motor encarregue pelo colega Pedro Santos a prestar provas de mestrado, procedeu-se à montagem do sistema de gestão original. Em seguida foram efetuados testes ao motor e resolução de avarias no mesmo. Ainda durante a fase de testes foi desenvolvido um sistema de aquisição para um freio dinamométrico.

5.1 PREPARAÇÃO DO MOTOR

Dado o início da preparação do motor verificou-se o estado da situação do motor BMW K75, relativamente este estava desmontado elétrico e mecanicamente. Assim recorreu-se ao esquema elétrico da moto BMW K75 de modo a interpretar o esquema de ligação segundo consta de (Churchill 1988). Depois de determinados os componentes e as ligações necessárias a cablagem ficou disposta da forma que se vê na Figura 5.1.

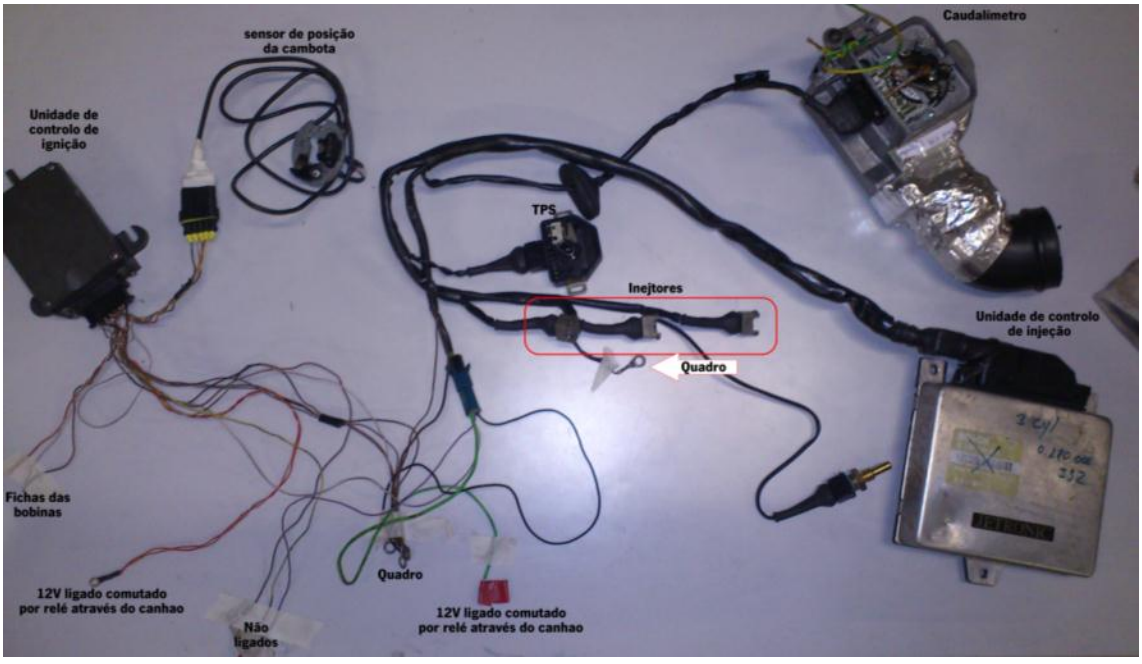


Figura 5.1 – Cablagem original necessárias ao funcionamento do motor BMW K75

A Figura 5.1 está incompleta faltando o relé da bomba e motor de arranque ativados pelo canhão e ligados à bateria. Também não estão ilustrados os injetores e as bobinas de ignição juntamente com os cabos de velas de ignição. Estes componentes em falta referidos foram ligados aquando a instalação da cablagem e componentes já que tinham sido instalados previamente. O resultado da instalação completa está ilustrado na Figura 5.1.

Figura 5.2 – Motor BMW K75 com o sistema de gestão instalado

5.2 EQUIPAMENTO DE MONITORIZAÇÃO DO MOTOR

De forma a monitorizar o motor preventivamente foi instalado um tacómetro para medição da velocidade de rotação, um mostrador de temperatura e o controlador Motec da sonda lambda. Os parâmetros a monitorizar foram escolhidos juntamente com o colega Pedro Santos que também realizava no momento testes ao motor.

5.2.1 Tacómetro

O tacómetro instalado foi encontrado no laboratório. Especificamente o KAL-D R/T possui um mostrador de 5 dígitos e permite leituras de rotação até 20.000 RPM através da leitura de um impulso por rotação com amplitude de 5V a 18V o que o torna ideal para a leitura da velocidade do motor. O tacómetro utilizado pode ser visto na Figura 5.3.

Figura 5.3 – KAL-D R/T

Eletricamente as ligações foram feitas tendo em conta manual técnico do KAL-D R/T no Anexo C. Através da modificação de um cabo PATA disponível no laboratório foram feitas as ligações de acordo com o esquema da Figura 5.4.

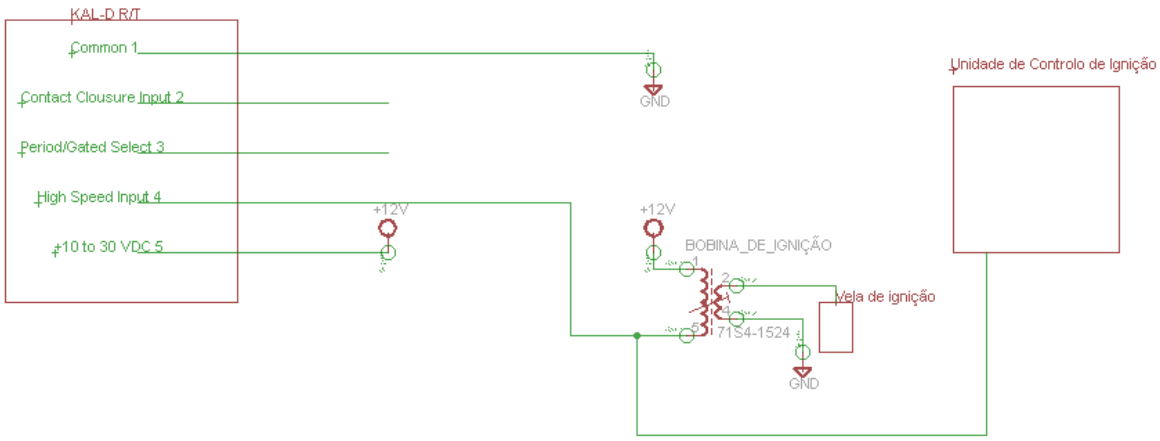


Figura 5.4 – Esquema de ligação KAL-D R/T

É de notar que a unidade de controlo de ignição no esquema apenas representa a ligação necessária do tacómetro para uma melhor compreensão das ligações efetuadas.

5.2.2 Mostrador de Temperatura

O mostrador de temperatura utilizado também já existia no laboratório. De modo a possibilitar a leitura de vários sensores foi utilizado em conjunto um seletor também já existente. O mostrador de temperatura é da marca Digitron Instrumentation LDA modelo 8000K. Este mostrador permite a ligação de termopares tipo K e a leitura de temperaturas entre -25° C e a 999° C com a resolução

de 1º C sendo também ideal para o controlo de temperatura do motor. O mostrador de temperatura pode ser visto na Figura 5.5.

Figura 5.5 – Mostrador de temperatura Digitron 8000K

Eletricamente as ligações do mostrador e do seletor, também da marca Digitron, foram feitas de acordo com os esquemas de ligação inscritos nos equipamentos como se pode ver na Figura 5.5. A alimentação do mostrador foi feita através de um transformador de telemóvel adaptado com uma saída de tensão de 5V também disponível no laboratório.

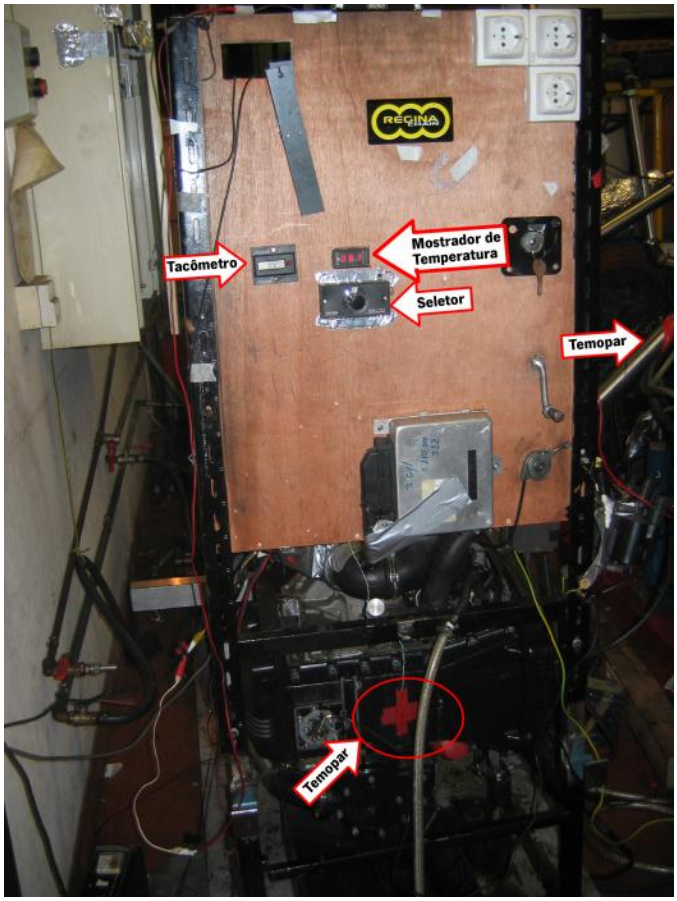


Figura 5.6 – Equipamentos de monitorização instalados

Após a instalação dos termopares nomeadamente no bloco, tubo de saída da bomba de água e tubo do escape estes foram ligados ao seletor e a saída do seletor ao mostrador.

Finalizadas as ligações do tacómetro e do mostrador de temperatura, estes foram fixados no suporte vertical do motor podendo ser visualizado na Figura 5.6.

5.2.3 Sonda Lambda

De modo a obter informações sobre a mistura durante os testes foi fixado no suporte do motor o controlador da sonda lambda. O controlador utilizado já foi descrito em 4.2.5, relativamente às ligações apenas foi necessário a ligação à bateria pela ficha de alimentação e instalar o sensor lambda no tubo de escape que já dispunha de um orifício para a instalação do sensor, Figura 2.1.

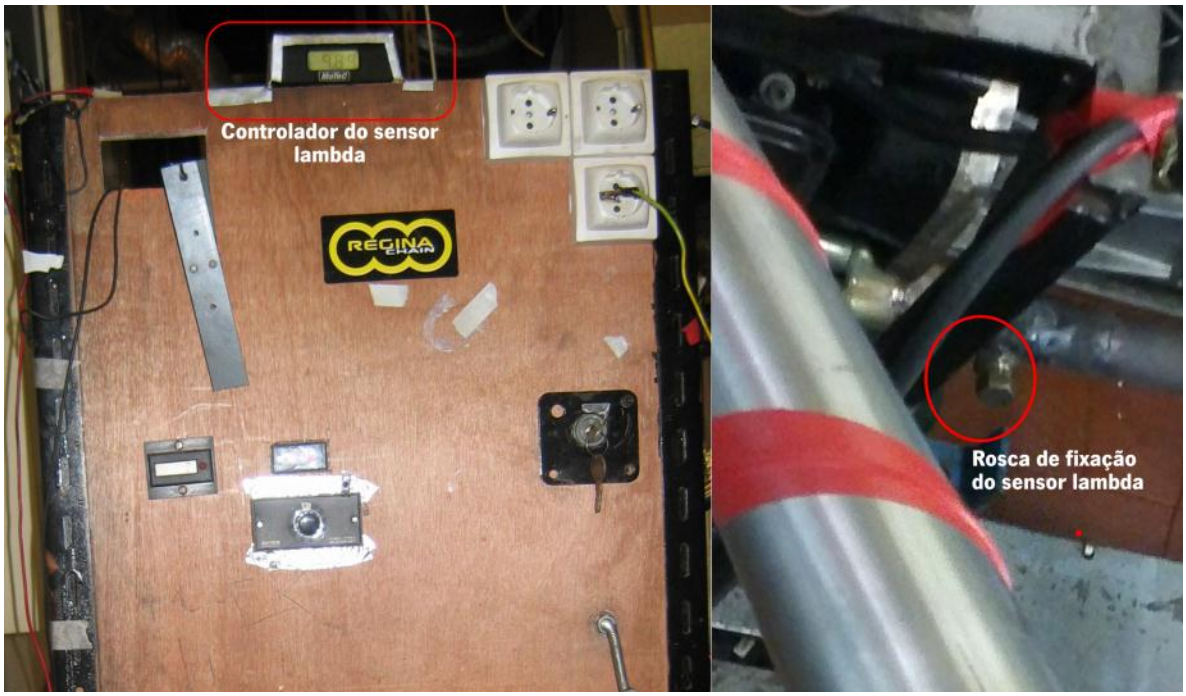


Figura 5.7 – Instalação do sensor lambda

5.3 TESTES DE FUNCIONAMENTO

Durante os testes de qualidade de funcionamento foram detetados várias anomalias com o motor que ocupara tempo significativo à realização deste projeto. Para melhor compreensão das dependências dos problemas ocorridos foi elaborado um diagrama de procedimento de arranque do motor com as soluções para as anomalias encontradas tendo em conta as causas. Este diagrama já tem em conta que o nível de óleo do motor está dentro dos limites, um outro problema que devido falha de vedação das juntas do motor por estarem trincadas levava a que fosse adicionado óleo frequentemente. Ilustrado na Figura 5.8 está o referido diagrama de procedimento de arranque do motor BMW K75.

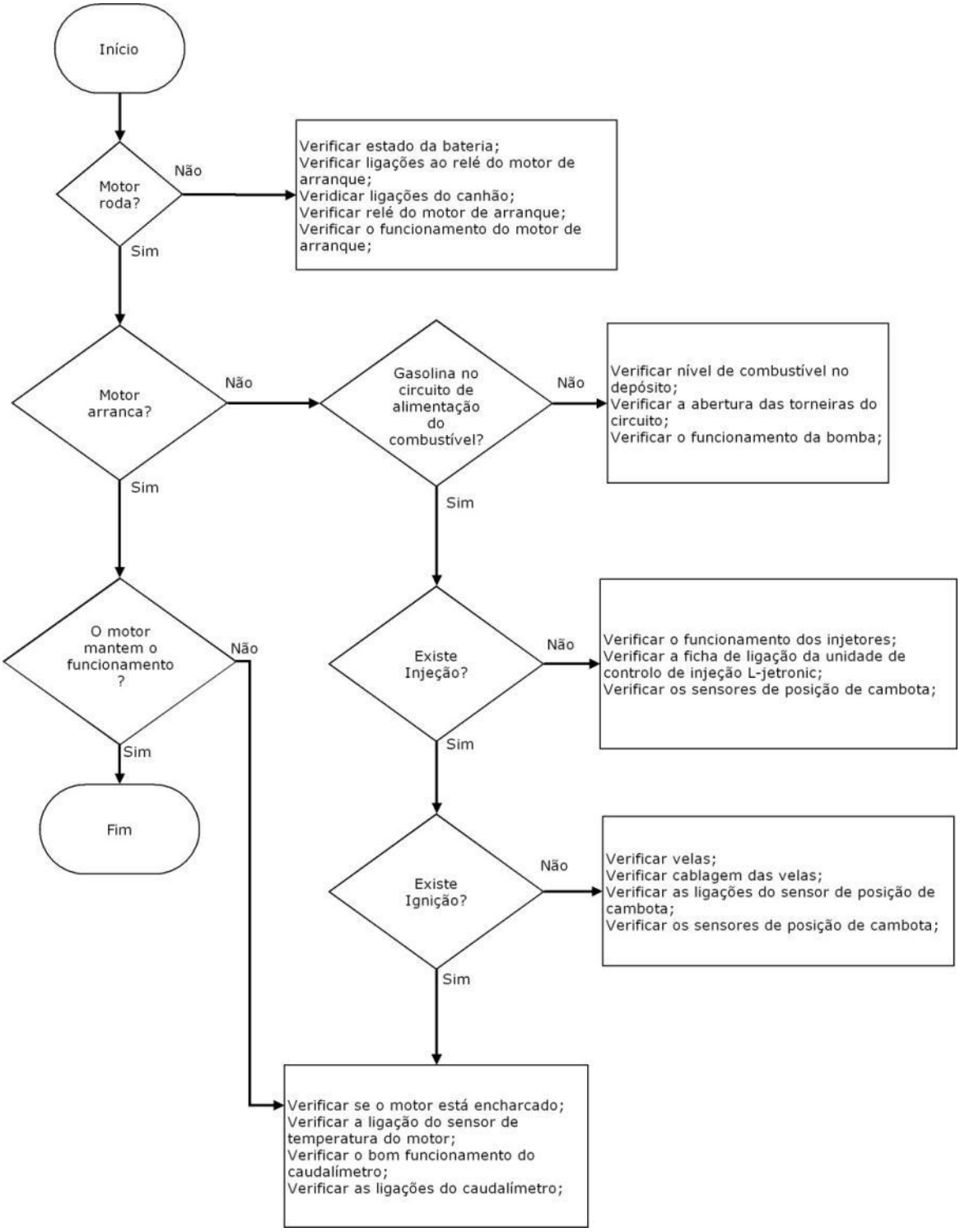


Figura 5.8 – Diagrama do procedimento de arranque do motor BMW K75

5.3.1 Causas e Soluções dos Problemas Encontrados

5.3.1.1 Motor não roda

Este problema era causado pelo sistema elétrico de arranque do motor de arranque. Durante o procedimento de arranque do motor a insistência com o motor de arranque elétrico era por vezes elevada devido às várias anomalias do motor. Esta insistência levava ao sobreaquecimento do motor de arranque e rápida descarga da bateria. O sobreaquecimento do motor de arranque faz com este perca força e consequentemente não rode a cambota do motor sendo necessário esperar que este arrefeça. O teste ao motor de arranque era efetuado através da energização direta através de cabos ligados à bateria o que implicava que a bateria possuísse carga suficiente.

Já a bateria era testada através da monitorização da tensão com um multímetro, a leitura de uma tensão inferior a 12V indicava que a bateria estava descarregada. Durante os testes do motor, através do amperímetro do carregador (ligado à bateria paralelamente) de baterias também era possível averiguar o estado de carga da bateria, uma corrente debitada superior a 6 amperes indicava que a bateria já não estava totalmente carregada.

A corrente elétrica consumida pelo motor de arranque durante o funcionamento também fazia sobreaquecer o relé causando danos no contato. Um relé danificado pode ser visto na Figura 5.9 – Relé com contato danificado. A resolução deste problema era feita através da substituição do relé ou reparação do contato se possível.

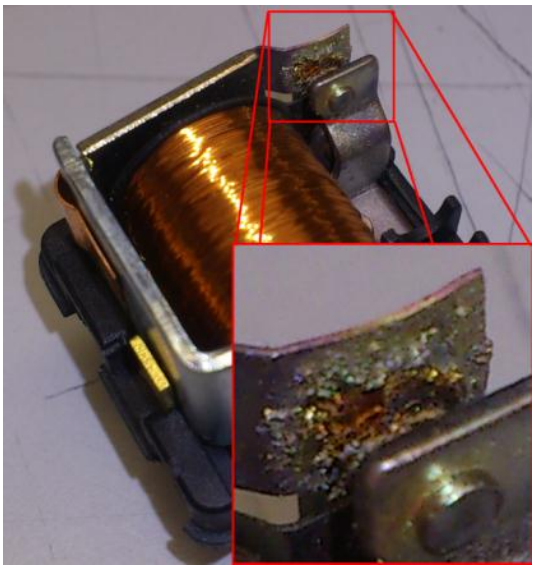


Figura 5.9 – Relé com contato danificado.

5.3.1.2 Motor não arranca – Falha no circuito de alimentação de combustível

Os procedimentos de arranque do motor obrigam a que a torneira do depósito de combustível estivesse aberta, a bomba de combustível fosse energizada e o mais importante que a torneira da derivação em "T" do circuito de combustível para o motor BMW estivesse aberta e com a torneira do motor Opel fechada. A verificação do circuito de combustível também implica a observação da existência de bolsas de ar no circuito, que era solucionado através do "sangramento" do circuito.

A verificação da bomba era feita através da sua energização, esta devia trabalhar produzindo o barulho característico de funcionamento. Durante os testes a bomba de combustível deixou de funcionar devido a ferrugem proveniente do depósito de combustível. A Figura 5.10 mostra o interior do depósito onde se vê o fundo com alguma ferrugem e do lado esquerdo da Figura 5.10 a ferrugem extraída do depósito. Este problema foi solucionado através da lavagem do depósito de combustível com gasolina e desentupimento da bomba através de ar comprimido aplicado no sentido inverso ao fluxo da bomba ao mesmo tempo que se energizava a bomba em breves impulsos trocando a polaridade.

Figura 5.10 – Ferrugem proveniente do depósito de combustível

5.3.1.3 Motor não arranca – falha na injeção

A falha na injeção teve origem em fichas desencaixadas que devido ao desgaste soltavam-se com frequência com as vibrações do motor, especificamente a ficha principal da unidade de controlo de injeção. Os contactos desta ficha também estavam ligeiramente oxidados. Para a resolução destes problemas os contactos da ficha foram desoxidados com limpa-contatos seguido

do encaixe da mesma e segura à unidade de controlo de injeção com fita-cola americana, Figura 5.11.

Figura 5.11 – Unidade de controlo de injeção com conector fixado com fita-cola americana

Para o teste dos injetores foi necessário desmontar a conduta de injeção e remover os injetores. Em seguida os injetores foram energizados a 12V através de cabos ligados da bateria à ficha do injetor, Figura 5.12. O bom funcionamento destes foi determinado a partir de estalido escutado e pela desobstrução à passagem de combustível quando energizado. Tratando-se de uma electroválvula obviamente quando não energizado deve bloquear a passagem de combustível, também verificado.

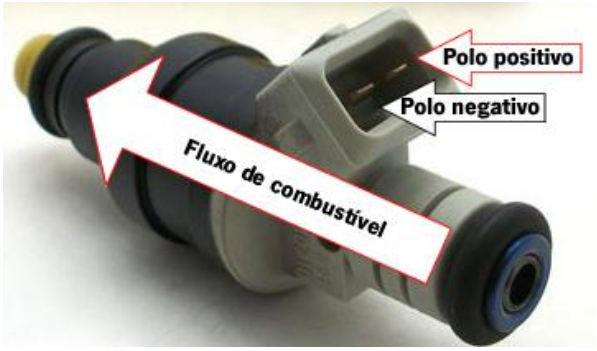


Figura 5.12 – Teste do injetor BMW K75

5.3.1.4 Motor não arranca – falha na ignição

O sistema de ignição apresentou falhas nomeadamente num dos cabos de velas, nos conectores da cablagem de ligação às bobinas, no desgaste e carbonização das velas e nos cabos de ligação e sensor de posição de cambota.

Relativamente ao cabo de vela foi substituído por um outro disponível no laboratório. O diagnóstico da falha deste foi efetuado através do teste de continuidade com um multímetro comparativamente aos restantes.

Os conectores da cablagem das bobinas apresentavam alguma oxidação que foi removida com limpa contatos. Um destes estava partido ao se procedeu a reparação com silicone visto que não foi possível arranjar ou adquirir um novo conector.

A carbonização das velas foi resolvida através da limpeza destas com uma escova de arame e uma lixa fina entre os eletrodos. No final da limpeza o espaço entre os eletrodos era verificado com palpa folgas e ajustado se necessário. O bom funcionamento destas era efetuado ligando a vela ao sistema de ignição e verificando uma boa faísca entre os eletrodos.

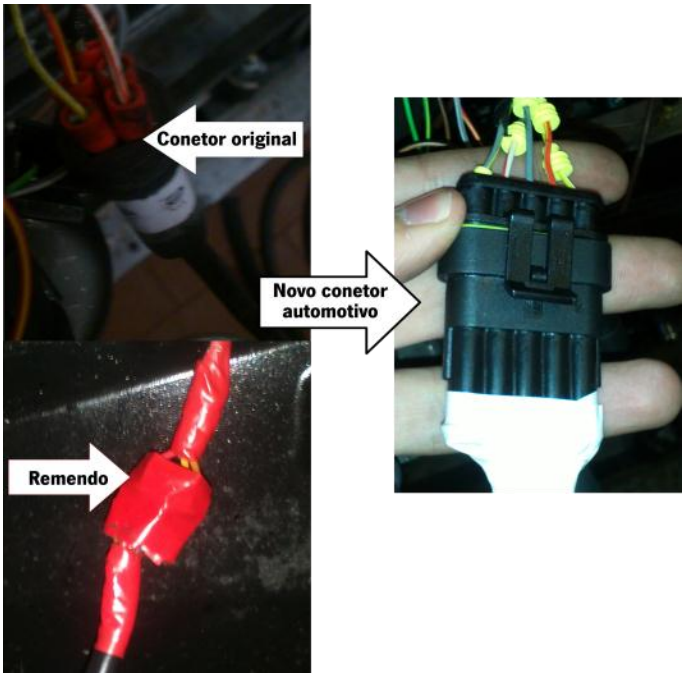


Figura 5.13 – Reparação da cablagem do sensor de posição de cambota

O problema do sensor de posição de cabota surgiu durante os testes de funcionamento em regimes elevados. O desgaste e o mau estado das juntas do motor causavam fugas de óleo que acabaram por avariar um dos sensores de *Hall* do sensor de posição de cambota. Durante o diagnóstico foi posto em causa a integridade do cabo uma vez que estava "remendado", e conector de ligação do sensor de posição de cambota que foi também substituído por um conetor de aplicação automóvel de 5 vias, Figura 5.13. Para solucionar o remendo optou-se pela substituição do cabo original por um outro adaptado e proveniente de material informático inutilizado disponível no laboratório.

Para solucionar a anomalia do sensor de *Hall* foi feita a substituição por um outro disponível no laboratório uma vez que não foi possível adquirir um sensor de posição de cambota novo devido

à falta de recursos. O diagnóstico do sensor foi efetuado através de um multímetro observando a variação significativa (alguns volts) de tensão do sinal do sensor à medida que o estimulador dos sensores rodava por meio da cambota, Figura 5.14.

Figura 5.14 – Ilustração do processo de verificação de funcionamento do sensor de *Hall*

O processo de instalação do novo sensor envolveu o descravar do sensor original e fixar o novo sensor através de rebites e finalmente refazer as ligações elétricas à cablagem do sensor. Para o isolamento das ligações dos fios foi utilizada manga retráctil disponível no laboratório que depois a substituição pode ser visto na Figura 5.15.

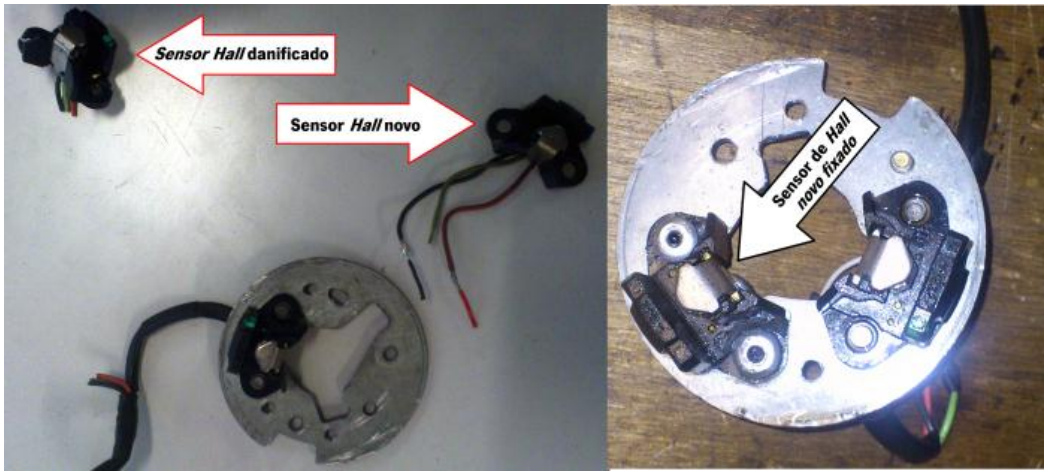


Figura 5.15 – Fixação do "novo" sensor de *Hall* no sensor de posição de cambota

5.4 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS *POWER LOGGER*

Durante o desenvolvimento do trabalho, foi necessário o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados para a leitura de binário do motor. O desenvolvimento e construção deste, foi essencial de forma a dar continuidade ao trabalho, visto que os recursos existentes no laboratório, nomeadamente o motor estava a ser partilhado com o colega Pedro Santos, que precisava de fazer testes de medição do binário produzido pelo motor em várias cargas através de um freio dinamométrico. Por sua vez o freio dinamométrico também estava a ser partilhado entre o colega Nuno Pacheco a prestar provas de Mestrado, constituindo um impedimento ao seguimento do trabalho.

Devido à falta de recursos, problemas surgidos e capacidade dos colegas por serem de áreas de engenharia diferentes, levou a que esta tarefa me fosse atribuída.

5.4.1 Sistema de Aquisição Anterior

O sistema de aquisição utilizado previamente para medição de binário era composto por um *software* desenvolvido em LabView e uma placa NI-6008 como *interface* e leitura dos sensores.

A leitura da rotação é efetuada por meio de um contador de impulsos K3HB-C configurado para converter os impulsos numa tensão de saída lida pela placa NI-6008. Como sinais de entrada para o K3HB-C os impulsos são gerados por um sensor presente no freio hidráulico já instalado de fábrica.

O sinal de tensão da célula para medição do binário é condicionado por um amplificador de instrumentação INA-125P lida também pela placa NI-6008.

A Figura 2.1 ilustra a configuração física do sistema de uma forma geral no que diz respeito ao sistema electrónico.

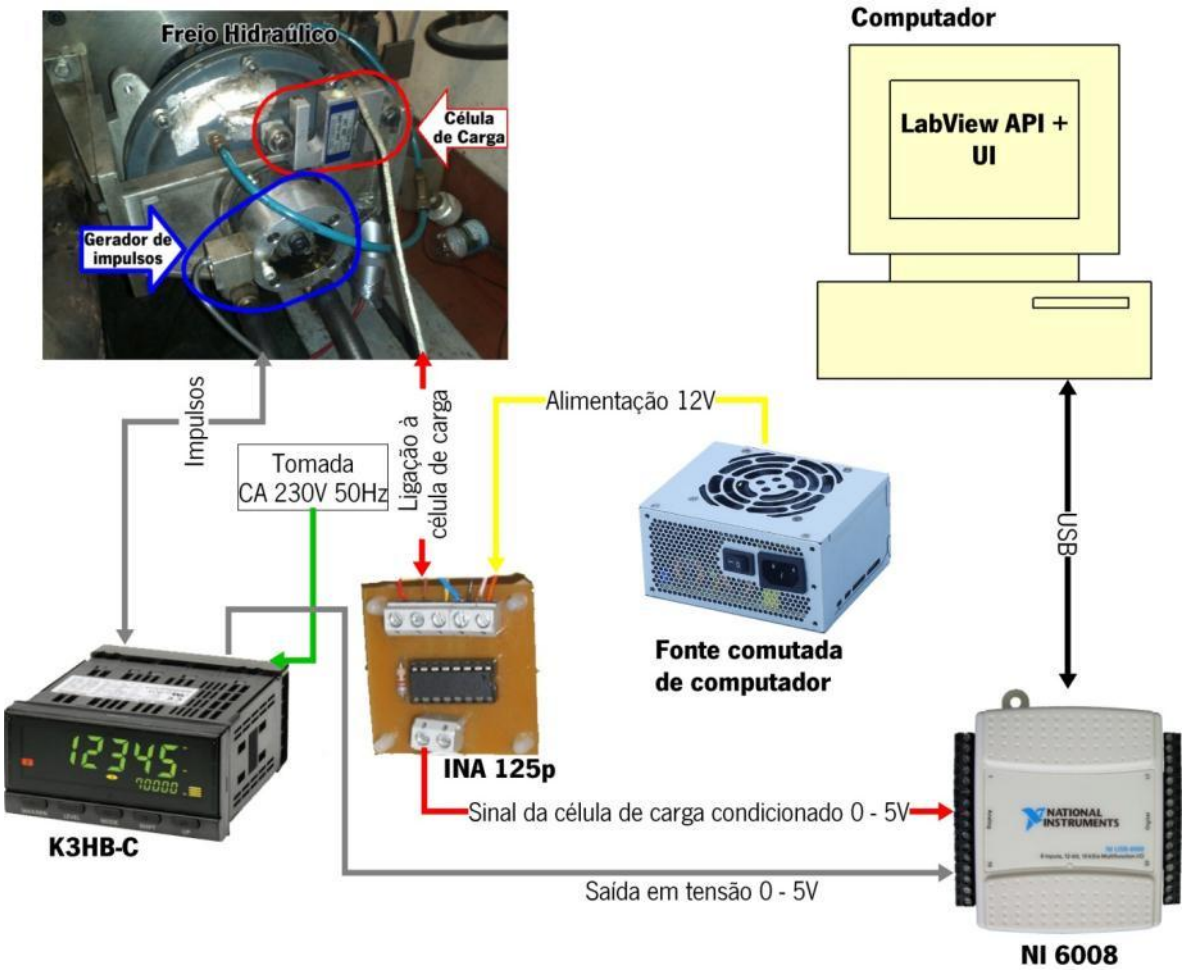


Figura 5.16 – Sistema de aquisição de dados antigo

Pela informação consultada no *datasheet* da placa de aquisição NI-6008 (National Instruments s.d.)e pela configuração das ligações observadas foram obtidas as resoluções de leitura através da fórmula:

$$resolução = \frac{\Delta V}{2^n}$$

Onde,

ΔV – Gama de leitura (tensão em volts) do ADC – *Analog to Digital Converter*

n – o número de *bits* do conversor

Assim pela fórmula anterior foi calculada a resolução:

$$resolução = \frac{10 - (-10)}{2^{11}} = \frac{20}{2048} = 9{,}8\, mV$$

No que diz respeito ao amplificador de instrumentação este foi configurado para medições a trações e compressão tendo uma tensão de saída com a célula de carga em equilíbrio de 2,50V aproximadamente. Isto significa que a saída em tensão do amplificador de instrumentação irá variar entre 2,50V e 5,00V uma vez que a configuração física do sistema medição de binário foi projetada para medição em compressões apenas.

A taxa de amostragem é definida pelo programa em LabView tendo sido programada para 1Hz

5.4.1.1 Problemas

O sistema de aquisição de dados antigo tem como principal problema a falta de resolução para com o amplificador de instrumentação e a taxa de amostragem.

A falta de resolução deve-se às características da placa de aquisição e configuração do amplificador de instrumentação.

A taxa de amostragem de 1 Hz faz com que as leituras não sejam viáveis dado que um motor varia a sua velocidade muito rapidamente durante os testes.

A Figura 5.17 ilustra os valores obtidos através do sistema de aquisição antigo, que pela análise revela-se inconclusivo à determinação da curva de binário.

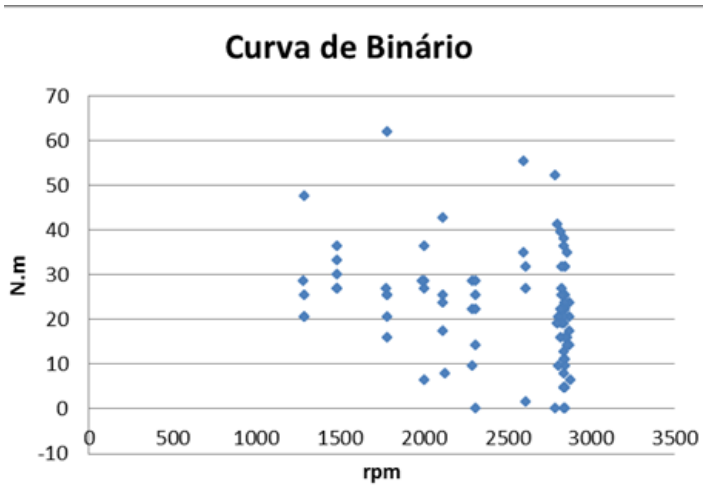


Figura 5.17 – Valores obtidos com o sistema de aquisição antigo no motor Yanmar

5.4.2 Requisitos do sistema

Da discussão com os colegas Nuno Pacheco e Pedro Santos foram definidos os seguintes requisitos:

- Resolução de 1 *m*V para a leitura do sinal condicionado pelo amplificador de instrumentação INA125P ligado à célula de carga;
- Taxa de amostragem superior a 10Hz;
- Leitura de rotação;
- Leitura de duas temperaturas (temperatura do motor e dos gases de escape) a através de termopares;
- Leitura da posição do acelerador;
- Leitura do sinal do controlador da sonda lambda;
- Leitura da tensão do potenciómetro do caudalímetro do motor BMW K75;
- Leitura de tensão do termístor do caudalímetro BMW K75;

Ainda este deveria ser provido de uma UI – *User interface* de modo a obter *feedback* dos dados obtidos com a opção de guardar os dados num formato predefinido.

5.4.3 Análise dos Sinais produzidos pelos Sensores

5.4.3.1 Tacómetro K3HB-C

O sinal da velocidade do motor tem origem no contador de impulsos K3HB-C. Este já se encontrava configurado de modo a produzir uma saída em tensão linear à rotação do freio hidráulico em RPM com uma gama de 10 V. A tensão gerada em função da rotação do freio pode ser vista na Figura 5.18.

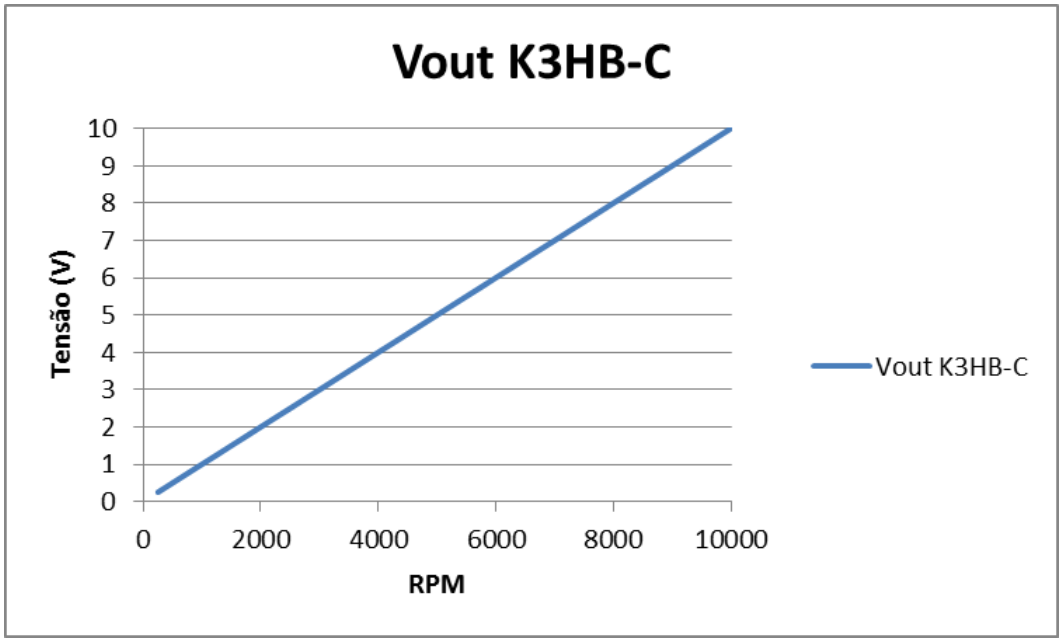


Figura 5.18 – Tensão de saída K3HB-C com a variação da velocidade de rotação do freio hidráulico

5.4.3.2 INA125p

O condicionamento da célula de carga Interface SSM-AJ-250 estava construído através de um amplificador de instrumentação INA125p. Pela observação do sinal de saída do circuito de condicionamento em testes no motor BMW K75 (motor com mais binário) foi registada uma tensão máxima de 3,35 V. O circuito de condicionamento está ilustrado na Figura 5.19.

Figura 5.19 – INA125p

5.4.3.3 Termopares

A escolha de termopares do tipo K deveu-se à gama de temperatura a medir, particularmente a temperatura dos gases de escape. A gama de temperatura destes sensores é de -200°C a 1200°C geralmente o que torna ideal para a aplicação. Eletricamente estes sensores produzem uma tensão de alguns milivolts através de uma união de dois materiais (cromel-alumel no caso do termopar tipo K) requerendo uma pré-amplificação do sinal e compensação pela segunda união do termopar quando ligado a um instrumento de medição. Uma curva característica destes sensores pode ser vista na Figura 5.20.

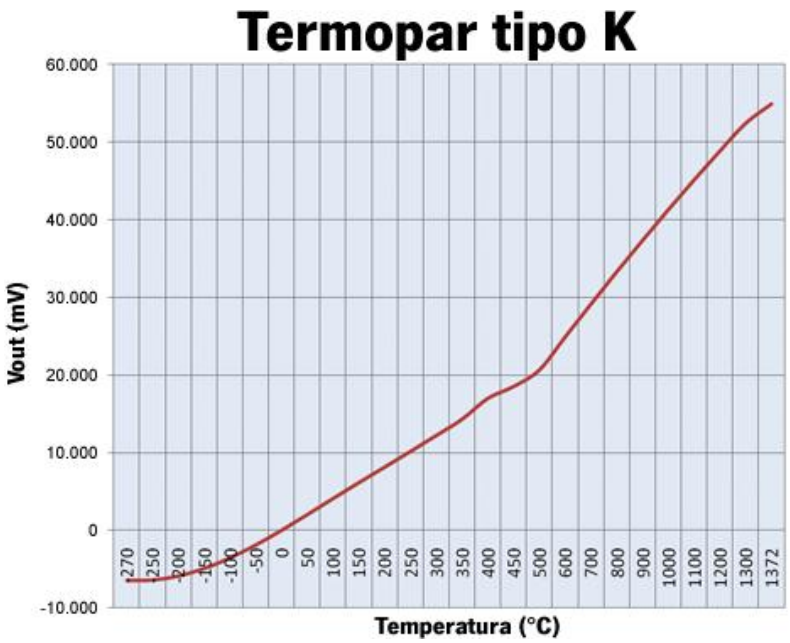


Figura 5.20 – Curva característica termopar tipo K adaptado de (Maxim Integrated 2011)

5.4.3.4 TPS – *Throttle Position Sensor*

De modo a obter um sinal do sensor do acelerador é necessário primeiramente energizá-lo. Este sensor é normalmente um potenciómetro alimentado por uma tensão fixa 5V especificado pelo *datasheet* Bosch 0280122001. Após a alimentação do sensor do modo que ilustra a Figura 5.21 a tensão mínima, isto é para o acelerador fechado, verificou-se ser V_{min}= 0,63 V e a tensão máxima quando o acelerado está totalmente aberto igual a V_{max}=3,13 V.

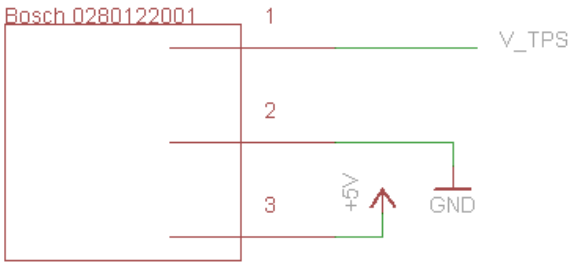


Figura 5.21 – Esquema de ligação ao sensor de posição do acelerador

5.4.3.5 Sensor Lambda

Através do *datasheet* do controlador Motec PLM foi verificada a tensão máxima de saída "Analog out +" ao que se averiguou ter uma gama de 0 – 5 V. Para leitura do controlador foi utilizado um cabo de ligação ao controlador do como se vê na Figura 5.22 já mencionado em.4.2.5.

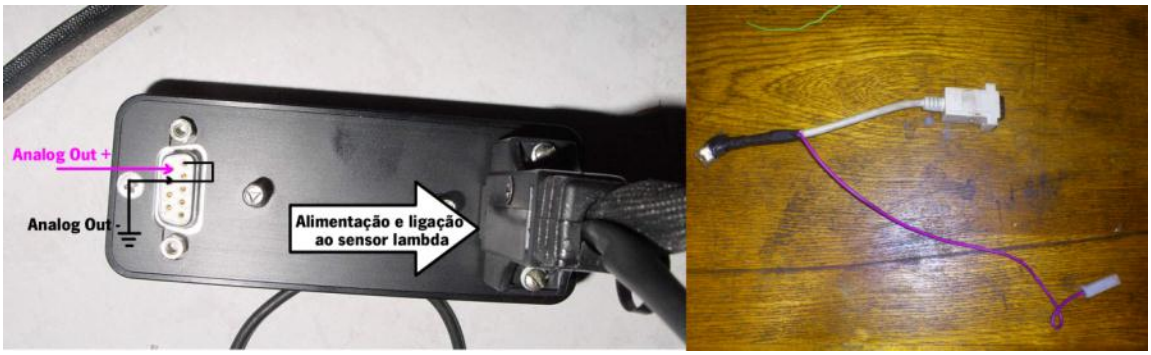


Figura 5.22 – Controlador Motec PLM e cabo para leitura do sinal gerado pelo controlador

5.4.3.6 Caudalímetro BMW K75

Relativamente ao caudalímetro, Figura 5.23, foram efetuadas medidas de tensão de modo a observar a amplitude dos sinais de tensão do sensor de temperatura do ar de admissão e potenciómetro do caudalímetro, ao que se verificou que geravam tensões compreendidas entre 0-14V.

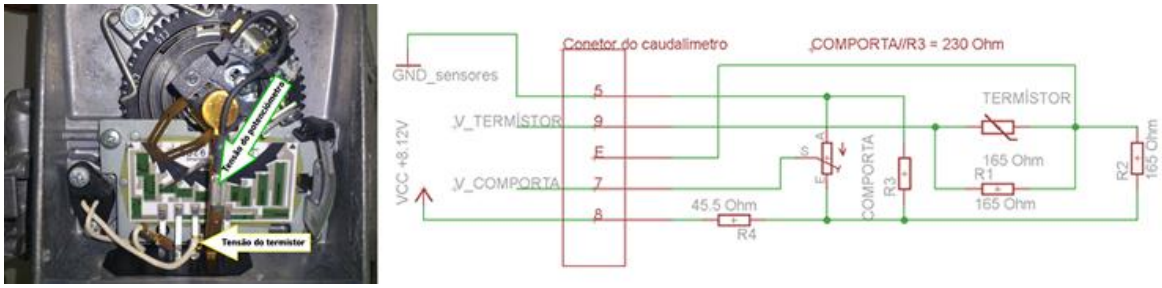


Figura 5.23 – Caudalímetro BMW K75

5.4.4 Escolha de Componentes

A escolha de componentes para o sistema e a placa de aquisição foi feita de acordo com a familiaridade do sistema conhecendo as potencialidades destes aliadas ao baixo custo.

De uma forma geral o diagrama do sistema foi projetado de acordo com os requisitos do sistema aproveitando componentes do sistema antigo e efetuando algumas melhorias. O diagrama no novo sistema de aquisição de dados pode ser visto na Figura 5.24.

Como placa de aquisição foi escolhia o Arduino Mega2560, tendo como características principais para a aplicação do sistema:

- 54 entradas/saídas digitais das quais 15 podem ser utilizadas como saídas analógicas(PWM – *Pulse Width Modulation*), 16 entradas analógicas de com resolução de 10 *Bits*;

- 4 portas UART – *Universal Assincronous Receiver/Transmiter*¸ TWI – Two Wired Interface, SPI- *Serial Pheriperal Interface*, interface USB – *Universal Serial Bus* (Arduino s.d.).

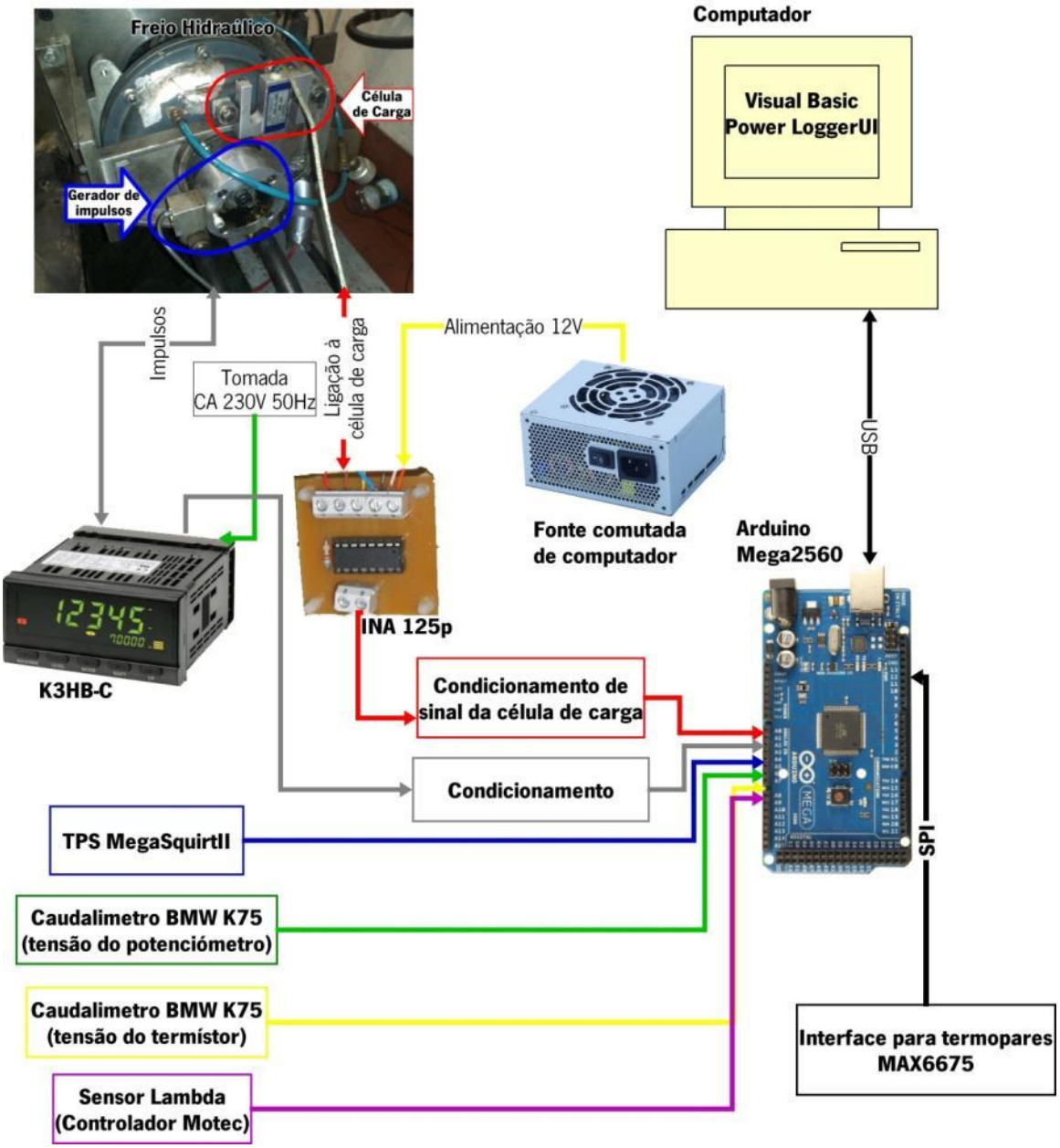


Figura 5.24 – Diagrama do novo sistema de aquisição de dados

Para leitura dos termopares tipo K foi adquirido um módulo de quatro MAX31857. Este componente é um circuito integrado para leitura de termopares do tipo K com uma resolução de 0,25°C com uma gama de 0 – 1024°C. Para interface com a placa de aquisição foi utilizado um barramento SPI que permite a ligação de vários módulos em simultâneo, Figura 5.25.

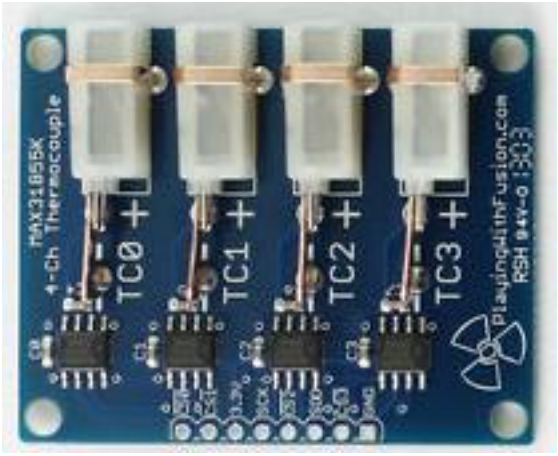


Figura 5.25 – Módulo de quatro canais para termopares tipo K MAX31857

Em relação a outros componentes como vistos na Figura 5.24 são derivados no sistema antigo com a exceção de alguns componentes eletrónicos para condicionamento de sinal descritos no subcapítulo seguinte.

5.4.5 Condicionamento de Sinal

Para que a placa de aquisição esteja apta a ler os sinais dos sensores, é necessário o devido condicionamento do sinal, de modo a que as entradas não sejam danificadas com o excesso de tensão nas entradas e ainda maximizar o seu potencial.

O condicionamento de sinal a seguir descrito tem em conta a análise do sinal descrita em 5.4.3.

5.4.5.1 Tacómetro

Como observado em 5.4.3.1 o sinal de saída do tacómetro tem uma gama de 0 - 10 V, deste modo é necessário condicionar o sinal para que este seja metade do seu valor máximo visto que a tensão máxima na entrada da placa de aquisição é 5V. Para este condicionamento foi utilizado um divisor de tensão, Figura 5.26. O cálculo da tensão de saída para a placa de aquisição foi determinado pela fórmula do divisor de tensão:

$$V_{RPM_{AR}} = \frac{R3}{R3 + R2} . AN_{OUT} = \frac{10000}{20000} . 10 = \frac{1}{2} . 10 = 5\ V$$

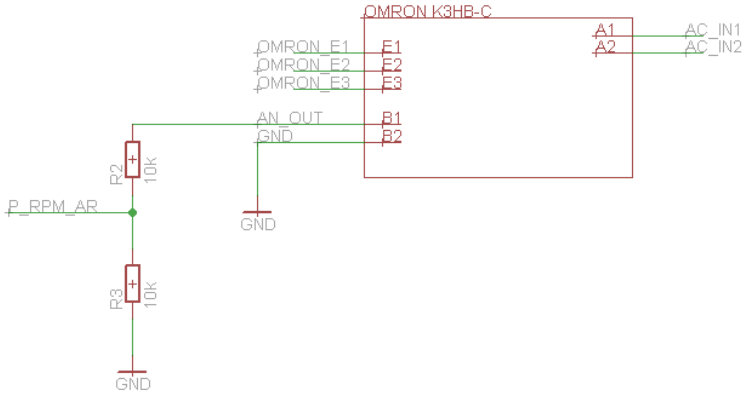


Figura 5.26 – Condicionamento do tacómetro K3HB-C

E1,E2,E3 – ligações ao sensor de rotação do freio hidráulico;

AC_IN1,AC_IN2 – Ligação à rede elétrica;

AN_OUT – Saída em tensão da rotação;

NA_GND – Ligação de referência à massa;

P_RPM_AR – Saída do sinal condicionado a partir de AN_OUT.

Aplicado este condicionamento o valor da resolução do sistema relativamente à medição é calculada da pela equação:

$$resolução = \frac{RPM_{máx}}{2^n}$$

onde *n* representa o numero de *Bits* do conversor ADC – *Analog to digital conveter* da placa de aquisição Arduino Mega2560. Por substituição temos:

$$resolução = \frac{10000}{2^{10}} = \frac{10000}{1024} = 9{,}8\ \mathrm{RPM}/Bit$$

5.4.5.2 INA125p

De modo a aumentar a resolução do sistema na medição do binário traduzido pela célula foi definida como gama útil o intervalo de tensão 2,40 – 3,40 V. Deste modo foi projetado um circuito para remoção de *offset* de tensão DC à saída do amplificador de instrumentação com o valor de 2.40V.

Para remoção do *offset* foi utilizado um amplificador diferencial, Figura 5.27, através de uma subtração à tensão produzida pelo amplificador de instrumentação INA125p. De modo a produzir um sinal de *offset*, valor de tensão subtraído ao sinal gerado pelo INA125p, foi projetado um circuito divisor de tensão seguido de um amplificador *Buffer*, Figura 5.27. O cálculo da tensão de

offset aplicado ao amplificador diferencial foi determinado através da fórmula do divisor de tensão com um potenciómetro de ajuste caso fosse necessário. Os cálculos seguintes definem os intervalos de tensão entre os quais é possível o ajuste pelo potenciómetro, conseguidos pela fórmula do divisor de tensão:

$$V_{offset_{max}} = \frac{R12_{offset} + R10}{R12offset + R10 + R11}.Vcc = \frac{15000}{25000}.5 = 3V$$

$$V_{offset_{min}} = \frac{R12_{offset} + R10}{R12offset + R10 + R11}.Vcc = \frac{10000}{25000}.5 = 2V$$

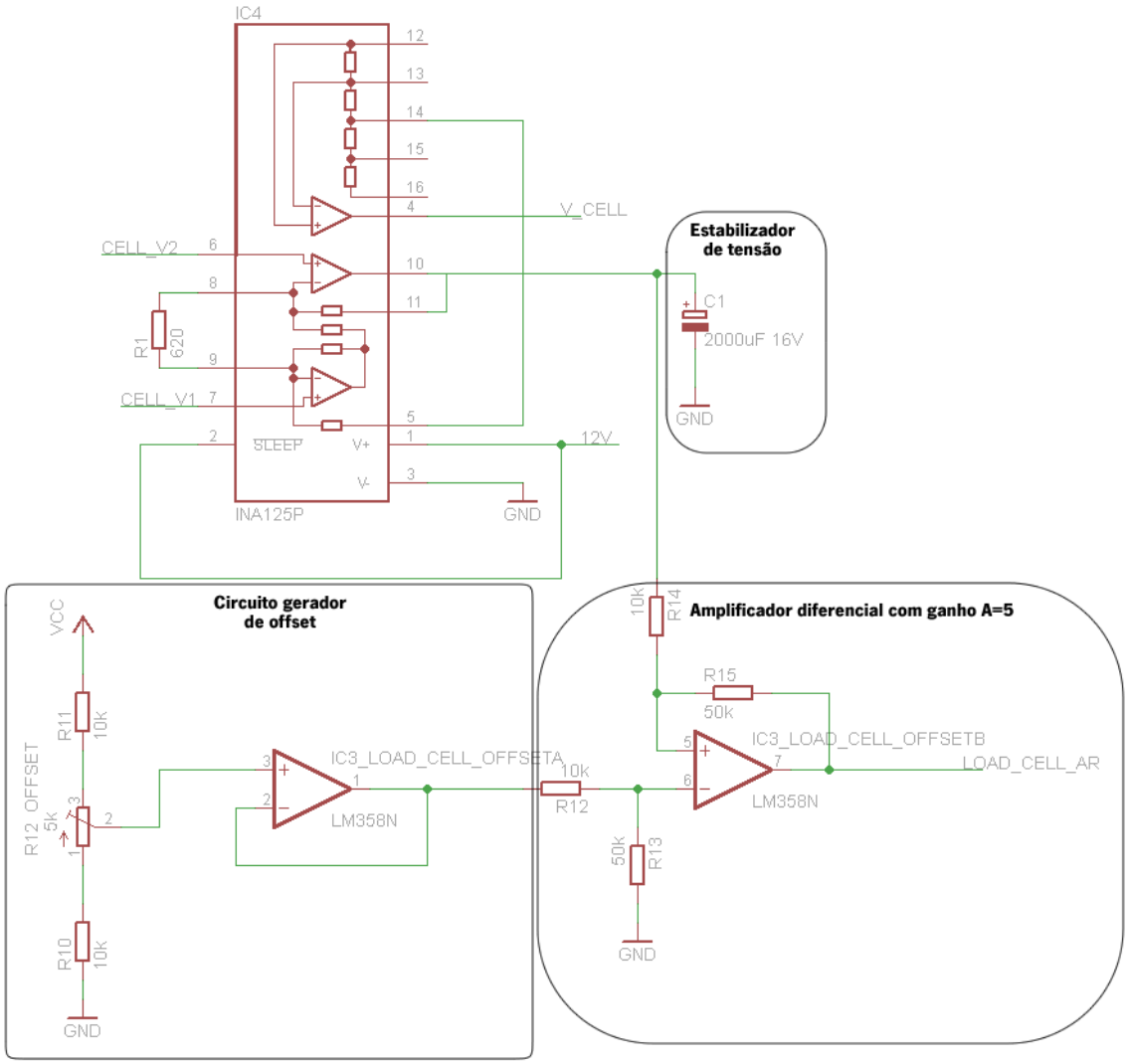


Figura 5.27 – Condicionamento do sinal da célula de carga

Na Figura 5.27, o potenciómetro para o ajuste de *offset* é identificado por R12, que verificado pelos cálculos efetuados permite um ajuste de 2,0 a 3,0V.

Depois de determinado o circuito gerador de *offset* foi projetado o circuito do amplificador diferencial. Este circuito tem a função de subtrair a tensão de *offset* ao sinal produzido pelo amplificador de instrumentação INA125p. Deste modo a tensão de saída do amplificador diferencial para um ganho A=1 com uma tensão *offset* V_{offset}=2,4V teria uma saída entre os valores de tensão calculados*:*

$$V_{Diff_{min}} = V_{INA125p_{min}} - V_{offset} = 2{,}40 - 2{,}40 = 0{,}00\ V$$
$$V_{Diff_{max}} = V_{INA125p_{max}} - V_{offset} = 3{,}40 - 2{,}40 = 1{,}00\ V$$

Para maximizar o potencial da placa de aquisição o ganho do amplificador diferencial foi alterado a partir do cálculo de resistências de modo a que o ganho seja A=5.

Deste modo:

$$V_{Diff_{max}} = \left(V_{INA125p_{max}} - V_{offset}\right).A = (3{,}40 - 2{,}40).5 = 5{,}00\ V$$

De onde se nota que a gama de leitura da placa de instrumentação foi totalmente utilizada.

O cálculo dos valores das resistências foi feito mantendo a relação,

$$\frac{R15}{R14} = \frac{R13}{R12}$$

que permite definir o ganho definido por:

$$A = \frac{R15}{R14} = \frac{50000}{10000} = 5$$

(Brown 2001)

A resolução do novo sistema de aquisição é calculada pela fórmula seguinte:

$$resolução = \frac{V_{Diff_{max}}}{2^n} = \frac{5}{1024} = 4{,}88\ \mathrm{mV}/Bit$$

que com amplificação do sinal diferencial com um ganho A=5 passa a ser:

$$nova\ resolução = \frac{resolução}{A} = \frac{4{,}88}{5} = 976{,}56\ \mu V$$

Inversamente a tensão proveniente do amplificador de instrumentação é calculada através da fórmula:

$$V_{INA125p} = V_{offset} + \frac{LOAD\_CELL\_AR}{A}$$

em que LOAD_CELL_AR representa o sinal em tensão de saída do amplificador diferencial no esquema da Figura 5.27.

Ainda do esquema da Figura 5.27 foi adicionado ao circuito um condensador eletrolítico de alta capacidade 2000µF para estabilização do sinal produzido condicionado pelo amplificador de instrumentação gerado pela célula de carga.

5.4.5.3 Caudalímetro

Para condicionamento dos sinais provenientes do caudalímetro nomeadamente a tensão no termístor e a tensão gerada pelo potenciómetro da comporta foram utilizados dois amplificadores como *buffers* seguido de um divisor de tensão, Figura 5.28 e Figura 5.29. A utilização de *buffers* permite replicar a tensão para leitura e condicionamento sem alterar o funcionamento dos circuitos visto representarem uma alta impedância ao sinal replicado.

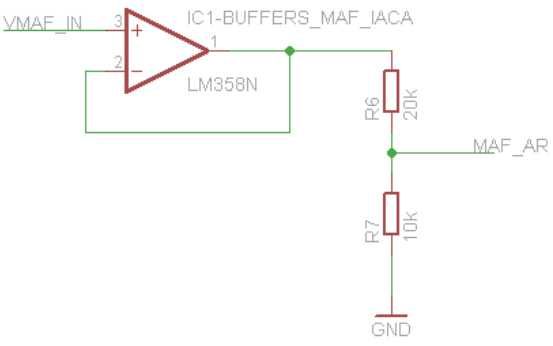


Figura 5.28 – Condicionamento do sinal do potenciómetro da comporta

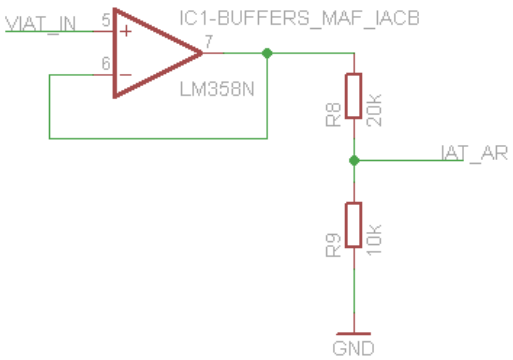


Figura 5.29 – Condicionamento do sinal do sinal do termístor

Das figuras anteriores VMAF_IN e VIAT_IN representam os sinais em tensão do caudalímetro nomeadamente do potenciómetro da comporta e do termístor e MAF_AR IAT_AR o sinal condicionado para a placa de aquisição Arduino Mega2560.

O valor sinal condicionado do potenciómetro da comporta supondo que o valor máximo gerado por este é 15 V é dado por:

$$V_{MAF\ AR} = \frac{R7}{R7 + R6} . V_{MAF\ IN_{max}} = \frac{10000}{30000} . 15 = \frac{1}{3} . 15 = 5\ V$$

Da mesma forma devido aos circuitos de condicionamento serem iguais:

$$V_{IAT\ AR} = \frac{R9}{R8 + R9} . V_{IAT\ IN_{max}} = \frac{10000}{30000} . 15 = \frac{1}{3} . 15 = 5\ V$$

Já a resolução do sistema é dada por:

$$resolução_{MAF} = \frac{V_{MAF_{IN}}}{2^n} = \frac{15}{2^{10}} = 14{,}6\ m\text{V}$$

$$resolução_{IAT} = \frac{V_{IAT_{IN}}}{2^n} = \frac{15}{2^{10}} = 14{,}6\ m\text{V}$$

5.4.6 Protótipo do Sistema de Aquisição

Após projetar o condicionamento dos sinais dos vários componentes do sistema de aquisição foi construído um protótipo e a programação da placa de aquisição. O protótipo envolveu a montagem dos circuitos de condicionamento e sensores em placas *protoboard,* Figura 5.30.

Durante a construção do protótipo foi utilizada uma placa de aquisição programável Arduino UNO com características semelhantes à placa de aquisição escolhida devido à não disponibilização imediata deste uma vez que foi adquirida posteriormente. Para a leitura de termopares foi utilizada uma placa com dois circuitos integrados MAX6675 já construída e projetada outrora também devido à não disponibilidade imediata do módulo MAX31857.

A montagem dos circuitos de condicionamento foi feita através dos esquemas previamente definidos em 5.4.5 utilizando como amplificadores o circuito integrado TEXAS 358N (Texas Instruments 2000). Este circuito integrado foi escolhido pelo baixo custo e por ser provido de dois amplificadores num só componente.

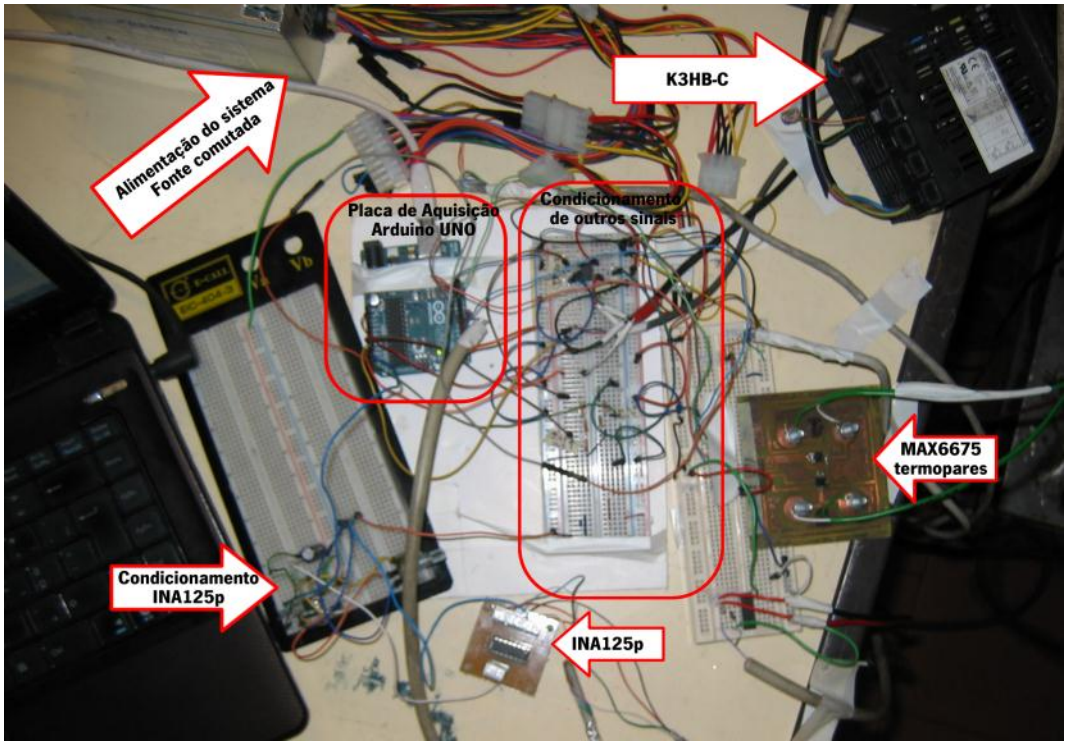


Figura 5.30 – Protótipo do *hardware* do sistema de aquisição

Para alimentação dos amplificadores foi utilizada uma fonte de alimentação de computador já em utilização com o amplificador de instrumentação INA125p.

Em mais detalhe o esquema das ligações pode ser consulado no Anexo D.

5.4.7 Programação da placa Arduino

A programação da placa foi feita através do *software* Arduino 1.5.2 disponível em (Arduino s.d.). Este *software* é utilizado para compilar o código de programação C e para fazer o *upload* do *firmware* compilado para a placa através de um cabo USB.

Durante a construção do código foi utilizada a biblioteca adicional para a interface dos MAX6675 desenvolvida por Ryan McLaughlin e E.J.Blayer (Blayer s.d.).

A programação envolveu definir as entradas analógicas da placa Arduino para os vários sensores e enviar os dados da conversão ADC pela porta de série. Em definição dos pinos correspondentes à placa de aquisição temos:

- pIAT - pino A3 correspondente à tensão do termístor do caudalímetro;

- pMAF - pino A2 correspondente à tensão do potenciómetro da comporá do caudalímetro;
- pTPS - pino A4 correspondente à tensão do potenciómetro do acelerador;
- pWB_EGO - pino A5 correspondente à tensão do controlador da sonda lambda Motec;
- pC_CARGA - A1 correspondente à tensão da célula de carga;
- pRPM - pino A0 correspondente à tensão do tacómetro K3HB-C;

O algoritmo pode ser visto em diagrama de na Figura 5.31 relativamente ao código pode ser consultado no Anexo E.

Para a leitura de temperaturas pelos MAX6675 foi necessário efetuar alterações à biblioteca MAX6675 pelo facto da ordem de leitura para um termopar demorar cerca de 250 ms necessários à conversão do valor em tensão do termopar para digital.

De modo a manter uma taxa de aquisição superior a 10 Hz definida nos requisitos, o CS – *Chip Select* de cada MAX6675 é pulsado de acordo com o *datasheet* em (Maxim Integrated 2013) para a ordem de conversão da leitura ADC. Durante o compasso de espera (tempo necessário à leitura de um termopar, 250 ms), os restantes sensores são lidos cinco vezes de modo a perfazer mais de 250 ms. Isto significa que a taxa de atualização dos termopares é mais baixa do que a dos restantes sensores. No código elaborado existe a leitura de dois termopares, os quais são lidos alternadamente e tendo uma taxa de aquisição de cerca de 2*Hz* para cada um.

A leitura de 5 vezes por segundo foi calculada através da diferença por um *time stamp* analisado durante a execução do programa. O *time stamp* definido pela função **millis()** retorna o tempo decorrido desde o inicio do programa em microssegundos a cada leitura dos sensores. Através da diferença entre cada *output* pela porta série foi calculada a taxa de aquisição do sistema sendo de aproximadamente 62 ms.

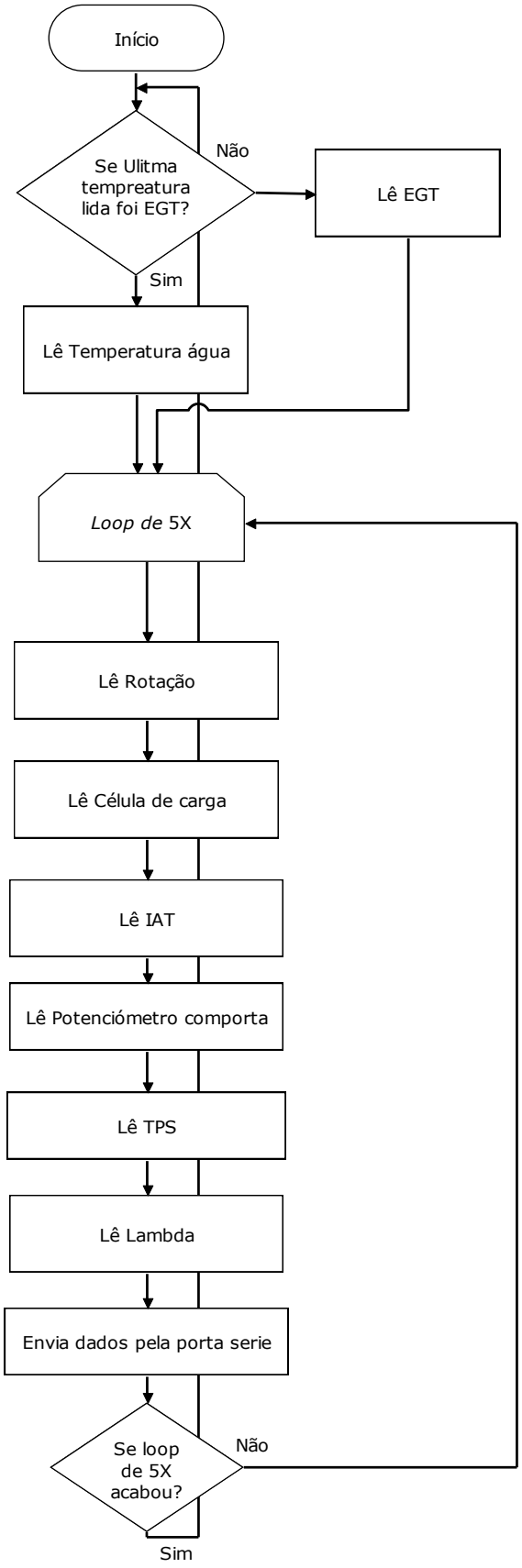


Figura 5.31 – Diagrama de fluxo algoritmo de leitura.

5.4.7.1 Definição da Trama de Dados

A definição da trama de dados corresponde a um conjunto de dados relativos aos sensores agrupados de num formato e sequência específica enviada infinitamente pela placa de aquisição através da porta série. Assim definiu-se a trama como:

Seq	RPMmed	rpmi	IAT	MAF	TPS	WB_EGO	Carga	TAGUA	EGTs	\n

Onde:

Seq - *time stamp* em µs*;*

RPMmed – valor da conversão ADC do tacómetro;

rpmi – valor da conversão da velocidade de rotação instantânea;

IAT – valor da conversão ADC relativa à tensão no termístor no caudalímetro;

MAF – valor da conversão ADC relativa à tensão do potenciómetro da comporta do caudalímetro;

WB_EGO – valor da conversão ADC proveniente do controlador Motec (sensor lambda);

Carga – valor da conversão ADC relativo à célula de carga;

TAGUA – Valor em graus *Celsius* com duas casas decimais do termopar da temperatura da água derivado da conversão ADC efetuada, calculada e transmitida à placa de aquisição digitalmente (SPI) pelo MAX6675;

EGTs – Valor em graus *Celsius* com duas casas decimais do termopar da temperatura dos gases de escape derivado da conversão ADC efetuada, calculada e transmitida à placa de aquisição digitalmente (SPI) pelo MAX6675;

De modo a entender melhor a Figura 5.32 ilustra a saída de dados gerada pela programação extraída para o bloco de notas pela funcionalidade *Serial Monitor* existente no *software* de compilação e programação Arduino.

Inicialmente definido pelo código é enviada pela porta série a formatação da trama e em seguida são enviados os valores no formato ASCII separados pelo carácter ";" e as tramas de dados separadas pelo caracter "\n" que corresponde em programação C a uma nova linha de texto.

Como configurações de comunicação da porta série temos:

Baudrate: 19200;

Data bits: 8;

Parity: None;

Stop bits: 1;

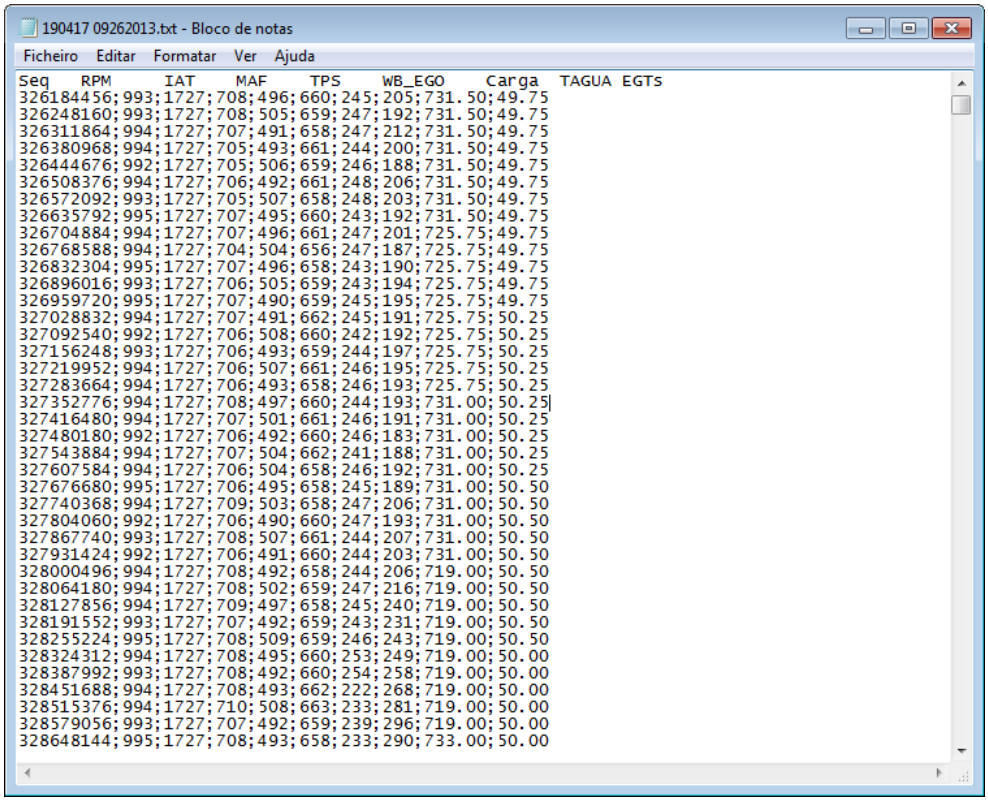


Figura 5.32 – Exemplo de *Output* de dados

Ainda da Figura 5.32 nota-se que os valores do ADC dos sensores correspondem à conversão do sinal em tensão para um valor correspondente a uma escala definida pelo número de *bits* do conversor ADC existente na placa de aquisição Arduino. Estes valores permitem que os dados sejam convertidos para tensão de acordo com a resolução calculada para cada sensor sem que

haja perdas de algarismos significativos em variáveis do tipo ponto flutuante. Também o facto da placa não ter sido programada para calcular diretamente as grandezas a medir, permite que esta seja mais rápida uma vez que não ocupa tempo de processamento.

5.4.8 UI Power Logger

A UI – *User Interface* foi desenvolvida de modo a facilitar o acesso aos dados recolhidos pela placa de aquisição e visualização destes em tempo real. Para o seu desenvolvimento foi escolhida a linguagem de programação Visual Basic através do *software* Visual Studio 2008 devido a familiaridade com o mesmo. A Figura 5.33 ilustra a UI da aplicação e o seu manual pode ser consultado no Anexo F.

De um modo geral a aplicação permite:

- Controlo da leitura da placa;
- Visualização em tempo real de valores lidos pela placa;
- Exportação dos dados recolhidos pela placa para um ficheiro de texto;

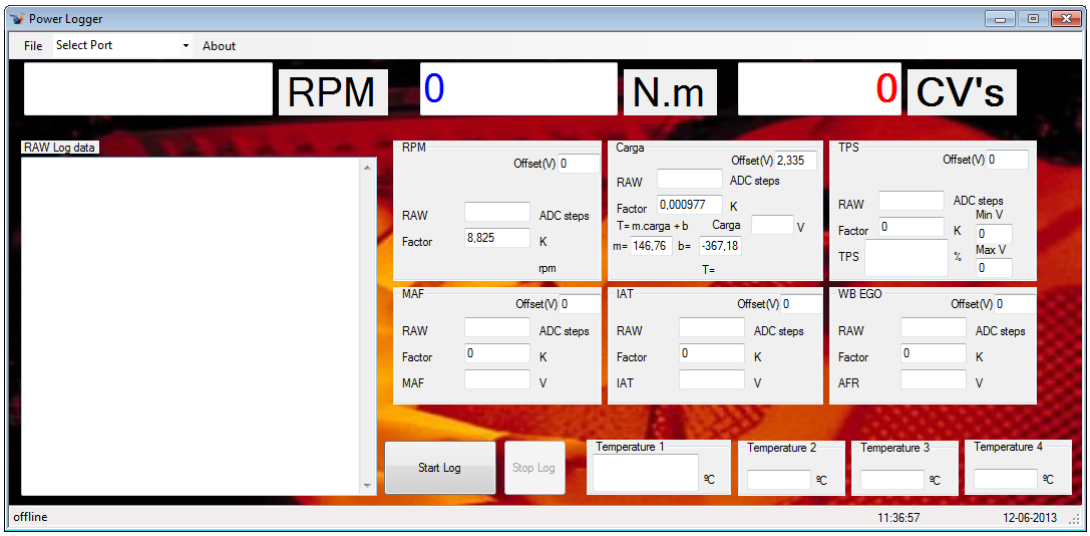


Figura 5.33 – Power Logger UI

5.4.9 Acondicionamento do Sistema de Aquisição

Depois de testado o sistema e desenvolvida a programação da placa de aquisição e software foi construído um suporte para o sistema. Todo o sistema de aquisição foi alojado numa caixa de

computador, Figura 5.34, para o fácil transporte e simplicidade de ligações ao sistema, na qual também foram implementadas fichas de ligação aos sensores distintas, um interruptor para a ligação da fonte de alimentação dos circuitos, a ligação USB do Arduino e o tacómetro frontalmente para observação da velocidade de rotação. A energização do tacómetro foi efetuada através da fonte de alimentação, isto é, através de um cabo soldado internamente à ficha de alimentação da fonte.

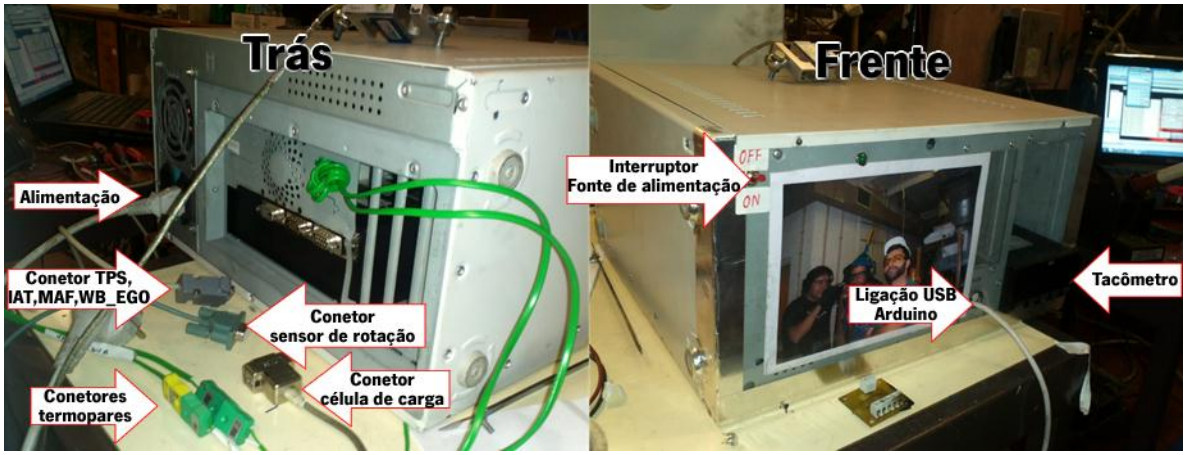


Figura 5.34 – Caixa do sistema de aquisição

Durante a construção da caixa foi necessária construção definitiva de todos os circuitos de condicionamento os quais foram instalados numa outra pequena caixa preta de plástico juntamente com o Arduino Mega2560 de modo a evitar curto-circuitos tendo por sua vez sido instalada dentro da caixa de computador, Figura 5.35. A construção dos circuitos de condicionamento foi feita numa placa electrónica pré perfurada, onde foram instalados também fichas para ligação dos sensores e uma ficha de alimentação *Molex* de 4 vias de modo a ligar o conetor da fonte de alimentação para energização de alguns componentes eletrónicos. Ainda de modo a permitir o ajuste de *offset* foi deixado um orifício de modo a facilitar o acesso ao potenciómetro do circuito de condicionamento da célula de carga descrito em 5.4.5.2.

Para uma consulta mais detalha sobre os circuitos e ligações efetuadas pode ser consultado o Anexo F.

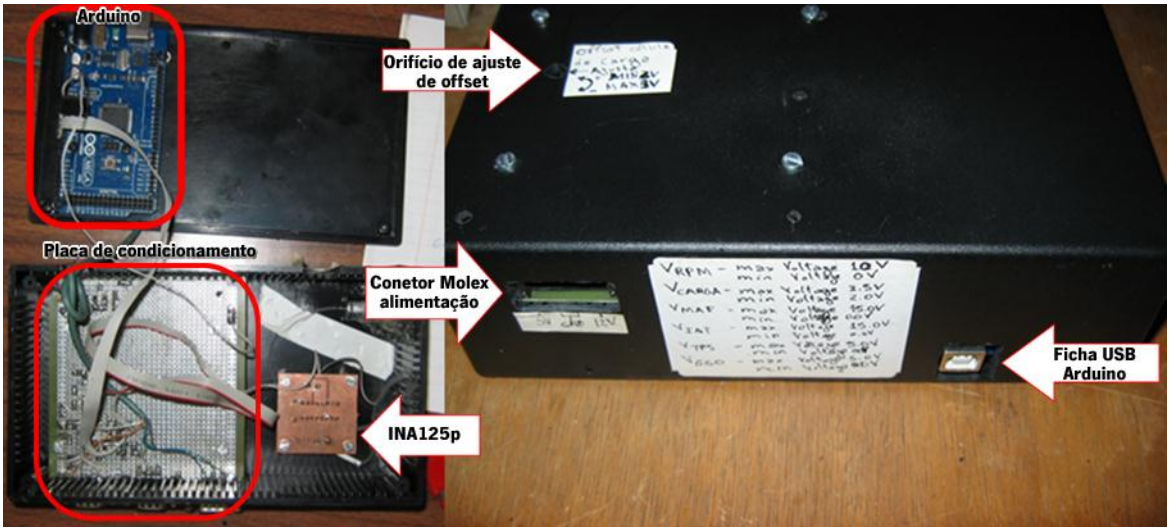


Figura 5.35 – Electrónica do sistema de aquisição

5.5 PROBLEMAS NO FREIO HIDRÁULICO

Mesmo após a construção de um novo sistema de aquisição de dado para o freio hidráulico a ocorrência de problemas continuou a existir durante os testes ao motor relevantes para os colegas Pedro Santos e Nuno Pacheco. O tipo de problemas surgidos após a construção do sistema eletrónico e informático de aquisição de dados foram mecânicos, os quais foram averiguados concluindo que eram gerados em parte pela vibração mecânica durante os testes e o desgaste dos casquilhos de pivotagem do freio. É de notar mais uma vez que a ocorrência de problemas durante a fase de testes ocupou tempo significativo à realização do projeto, os quais foram analisados e solucionados tendo em conta os custos dos componentes adquiridos e fabricados ou reparados quando não existentes e indisponíveis para aquisição.

Especificamente os problemas ocorridos foram incididos em três locais do freio, nomeadamente o suporte do freio hidráulico, na fixação da célula de carga e nos casquilhos dos pinos de pivotagem ao que passam a ser descritos em mais detalhe.

5.5.1 Suporte do Freio Hidráulico

A utilização do freio no motor BMW K75 e Yanmar alternadamente requeria que este fosse desmontado com alguma frequência. Durante as instalações foram verificadas folgas nas roscas do freio causadas pelo desgaste referente à mudança da geometria aquando a troca deste entre os motores, que obrigava a substituição dos parafusos, Figura 5.37.

Durante os testes ao motor BMW K75 também foi observado o desacoplamento do freio hidráulico do motor, Figura 5.36, devido a vibrações e desgaste das roscas de fixação do suporte do freio ao motor.

Figura 5.36 – Freio desacoplado do Motor BMW K75

Figura 5.37 – Parafusos de fixação da geometria do freio hidráulico

5.5.2 Casquilhos dos Pinos de Pivotagem

A falha dos casquilhos dos pinos de pivotagem foi verificada após a cedência do suporte de fixação da célula várias vezes consecutivamente. Através da observação de folga entre o freio e o suporte foi concluído que estes estavam gastos devido à vibração normal do motor. Uma vez que este problema impedia a continuação dos testes e a aquisição de peças de substituição ser demorada pelo fato de ser americano (utilização de unidades padrão imperiais), levou a que fossem maquinados novos casquilhos.

Figura 5.38 – Comparação entre um dos casquilhos torneados em *teflon* e um dos casquilhos originais

A maquinagem de novos casquilhos foi realizada com um torno de bancada existente no laboratório, Figura 5.39, tendo especial atenção nas correções das dimensões, nomeadamente no diâmetro interno e externo, visto que os casquilhos originais já estavam gastos. Durante o fabrico dos novos casquilhos foi utilizado primeiramente *teflon* na falta de material mais adequado, Figura 5.38. A instalação destes no freio revelou não serem adequados visto a falha dos mesmos após um único teste de

efetuado, Figura 5.40, o que levou a que oito novos casquilhos fossem maquinados em *nylon* grafitado pela semelhança de aspeto com os originais e pelas qualidades autolubrificantes e alta resistência ao desgaste, Figura 5.41.

Figura 5.39 – Torneamento dos casquilhos

Figura 5.40 – Casquilho de *teflon após o teste do freio*

Figura 5.41 – Casquilhos torneados em *nylon* grafitado

Como consequência das vibrações também foi verificado que os pinos de pivotagem também sofreram desgaste pela observação da instabilidade de posicionamento dos mesmos. Este problema foi especificamente reconhecido durante um dos testes em que um dos pinos saiu do devido posicionamento deixando o freio desapoiado. Dada a impossibilidade de substituição destes componentes foram construídos dois barramentos de chapas metálicas posteriormente fixadas no suporte do freio de modo a que os pinos se mantivessem no devido lugar, Figura 5.42.

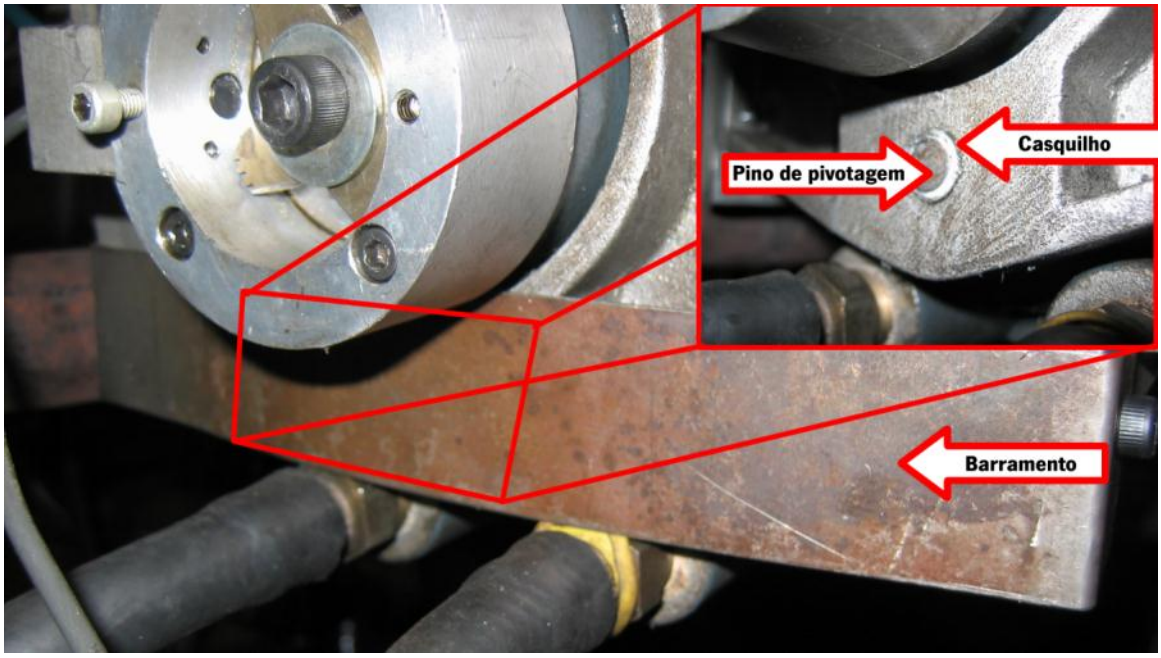


Figura 5.42 – Freio hidráulico com o pino de pivotagem, respectivo casquilho e barramento do mesmo assinalado

5.5.3 Fixação da Célula de Carga

A falha do suporte da célula de carga ocorreu devido às folgas existentes nos pinos de pivotagem aquando a realização dos testes. Esta falha incidiu na fratura das rótulas de suporte da célula de carga, Figura 5.43, assim como nos parafusos de fixação das rótulas causadas pelas vibrações, Figura 5.44.

Figura 5.43 – Rótula fraturada

Figura 5.44 – Parafusos de fixação da célula de carga fraturados e deformados.

Na procura de uma solução foi efetuada uma tentativa de reparação das rótulas, Figura 5.45, a qual se revelou não aplicável devido comprimento da rosca reduzido pelo cordão de solda que impedia a fixação dos parafusos passantes nas rotulas de fixação da célula ao freio hidráulico.

Figura 5.45 – Tentativa de reparação da rótula

A inviabilidade das rótulas existentes levaram a que fossem adquiridas novas rótulas originando mais um impedimento devido ao passo da rosca da célula não ser métrico assim como o diâmetro interno da rótula não possuir uma medida padrão do sistema métrico.

Uma vez não conseguida a aquisição de novas rótulas iguais, fato que impedia a continuação dos trabalhos foram adquiridas rótulas semelhantes as quais foram sujeitas a alterações, nomeadamente o alargamento do furo da rótula e aplicação de uma porca para reforço de fixação da célula de carga, Figura 5.46.

Figura 5.46 – Célula de carga com as rótulas instaladas e roscas de reforço

Relativamente aos parafusos sempre que fraturavam eram substituídos por novos disponíveis no laboratório. Durante os testes foram substituídos 6 pares de parafusos até à descoberta da causa, todos eles fraturados ou deformados. Aquando a fratura dos mesmos era necessário a remoção dos restos dos parafusos do freio consistindo num trabalho minucioso e demorado.

5.6 LEITURA DOS MAPAS DE INJEÇÃO

A leitura dos mapas de injeção foi levada a cabo de modo a facilitar a afinação do novo sistema de gestão. Para a leitura dos mapas de injeção foram variados os sinais de entrada do sistema de gestão, através da utilização de circuitos eletrónicos quando necessário e uma placa programável Arduino Uno. A leitura de dados utilizados na simulação foi recolhida através do sistema de aquisição de dados desenvolvido em 5.4. Para leitura dos mapas foram utilizados dois métodos, nomeadamente medição de combustível injetado e medição digital da largura de impulso do injetor.

5.6.1 Recolha de valores de funcionamento

Para recolha de valores foram analisados os parâmetros de entrada necessários à simulação do funcionamento do sistema. A Figura 5.47 ilustra os sensores tomados em conta pela unidade de controlo de injeção L-Jetronic para a gestão da mistura.

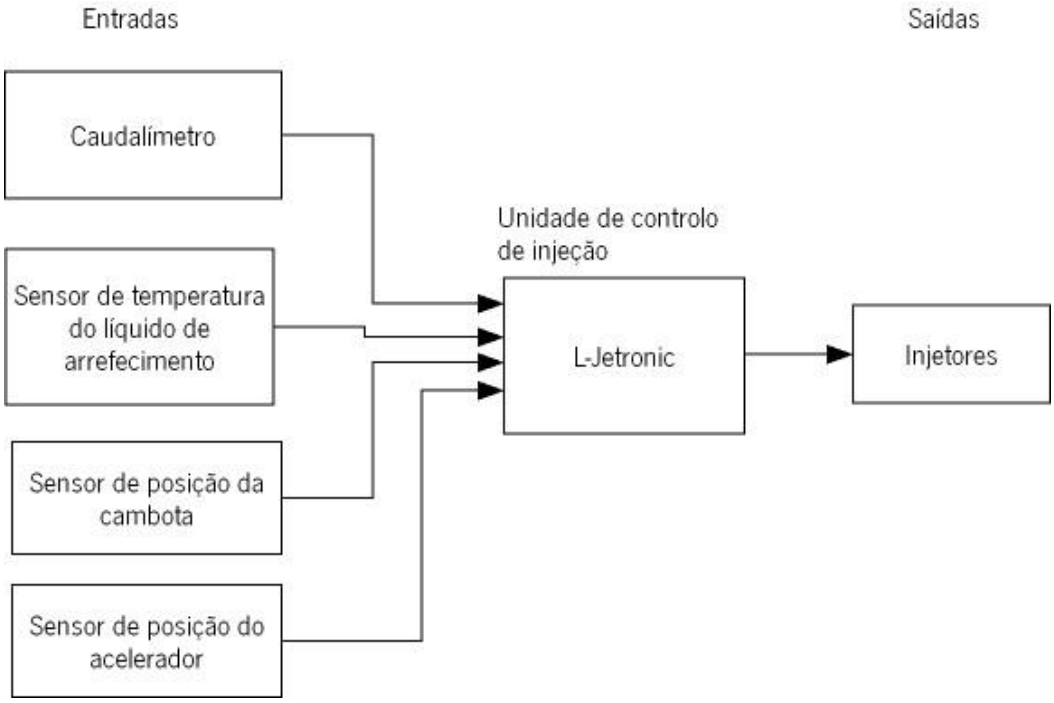


Figura 5.47 – Esquema lógico da *interface* de sensores e actuadores com o sistema de gestão L-Jetronic

Analisado o esquema da Figura 5.47 foram verificados os funcionamentos dos sensores através do estudo da sua viabilidade para recolha de dados.

Recolha dos valores de tensão do caudalímetro

Para a leitura das tensões do potenciómetro da comporta e do sensor IAT presente no caudalímetro foi efetuado um teste ao motor fixando o sensor do acelerador a 50% do curso de abertura. A posição do acelerador foi escolhida tendo em conta a análise do sensor, que dispunha de três estados de posicionamento distintos, designadamente com o acelerador parcialmente fechado, quase ou totalmente aberto e o curso intermedio entre os anteriores. Estes estados são sinalizados à unidade de controlo por meio de dois interruptores ilustrados na Figura 5.48, de onde se pode observar a posição do actuador dos sensores para uma posição do acelerador a 50%. A posição do acelerador foi escolhida de modo a que a unidade de injeção não enriquecesse a mistura sinalizada pelos interruptores ao *ralenti* e a *Full-throttle*.

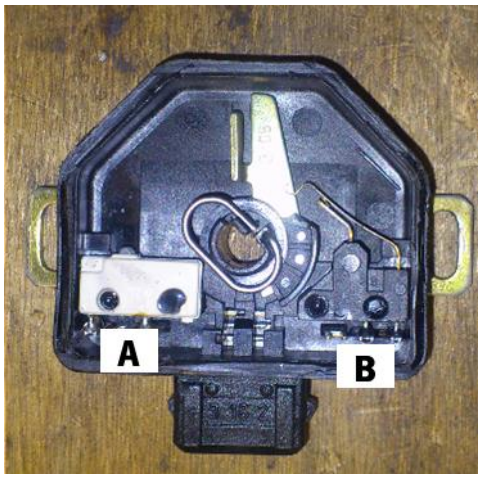


Figura 5.48 – TPS BMW K75, A - Interruptor lógico de ralenti; B – Interruptor *Full-throttle*

A recolha de dados relativos às tensões dos transdutores no caudalímetro foi feita com o sistema de aquisição desenvolvido em 5.4 com o motor em funcionamento e utilizando o freio de modo a aplicar carga ao motor com o intuito de variar a rotação do mesmo sem variar a posição do acelerador. A Figura 5.49 ilustra a variação de tensão dos sensores do caudalímetro ao que se conclui que a variação da temperatura do ar de admissão não varia significativamente, nem o potenciómetro tendo em conta a gama de funcionamento deste.

Para especificar os valores para a simulação foram calculadas as médias das tensões produzidas pelos sensores, respetivamente:

$$V_{IAT} = 10{,}33\ V$$

$$V_{Potenciómetro\ da\ comporta} = 7{,}25\ V$$

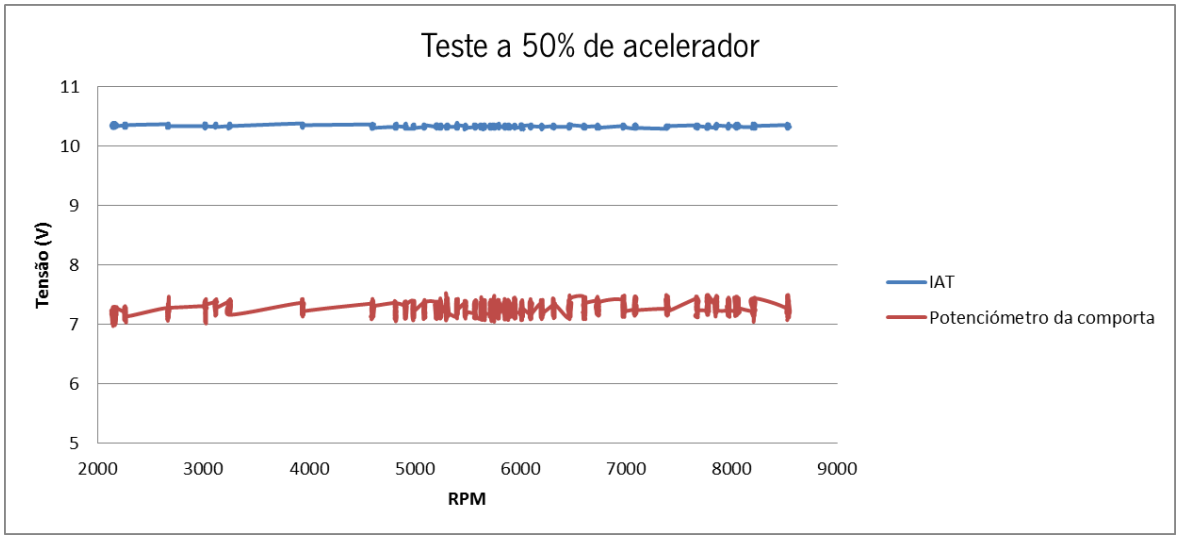


Figura 5.49 – Gráfico de tensão produzida pelos sensores do caudalímetro

Análise do sensor de posição de cambota

De modo a simular a rotação do motor foi estudado o funcionamento do sensor de posição de cambota, Figura 5.51. Este estudo incidiu principalmente na análise dos sinais gerados pelos sensores de *Hall* através da monitorização dos dois sinais durante o funcionamento do motor para estabelecimento de uma relação da duração dos impulsos gerados. A monitorização dos impulsos foi efetuada através de um *Logic Analyzer* ilustrado na Figura 5.50.

Figura 5.50 – *Logic Analyzer Saleae*

Após a identificação dos sinais provenientes dos sensores, Figura 5.53 foi ligado o *Logic Analyzer* em paralelo com as ligações da cablagem do sensor de posição de cambota ao módulo de ignição. As ligações do *Logic Analyzer* podem ser vistas na Figura 5.52 de modo a perceber a sequência lógica do sinal proveniente do sensor de posição de cambota.

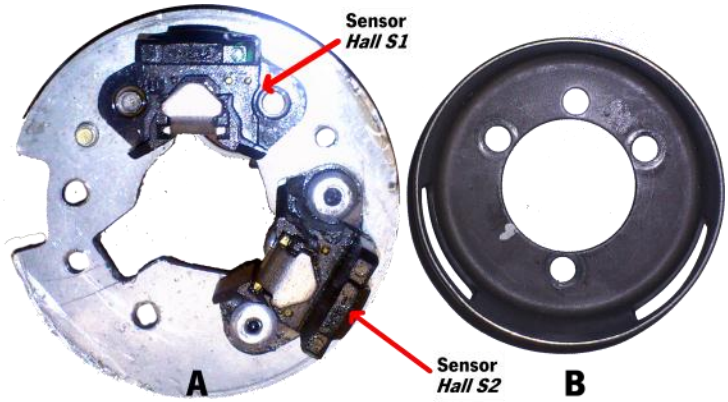


Figura 5.51 – Componentes do sensor de posição de cambota original BMW K75, A – Sensores de *Hall*; B – Campânula de codificação do sinal;

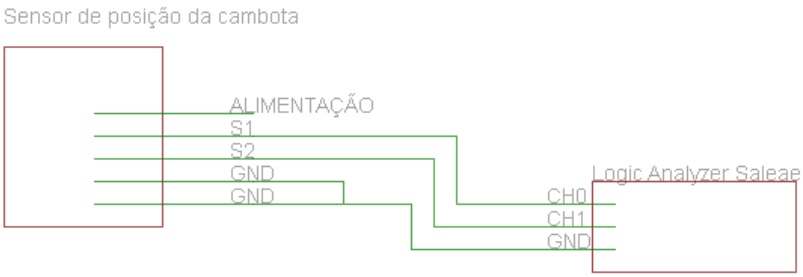


Figura 5.52 – Esquema de ligação do *Logic Analyzer* ao sensor de posição de cambota

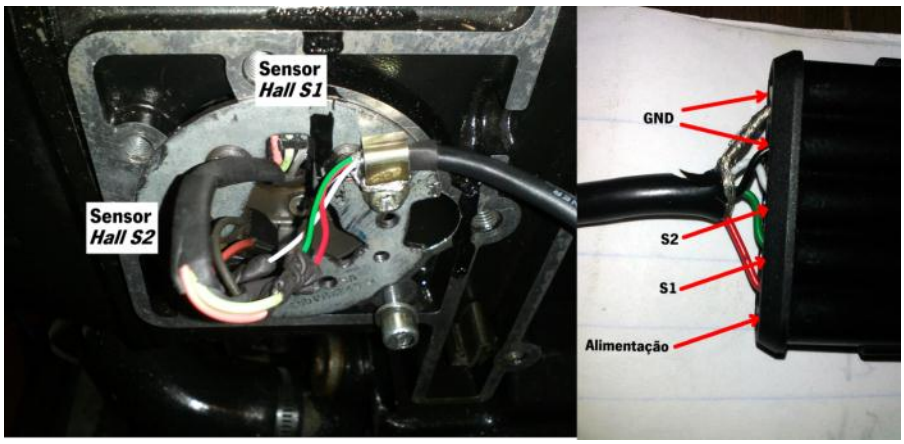


Figura 5.53 – Sensor de posição de cambota original BMW K75 e com os sinais os sensores e saídas dos sinais indicados.

Após a amostragem do sinal através do software *Saleae Logic 1.1.15* com o motor em funcionamento, Figura 5.54, foi analisado e calculadas as razões entres os tempos de duração dos impulsos assim como a ordem destes. A utilização do *software* permitiu não só observar o formato e sequência do sinal como obter os tempos dos impulsos.

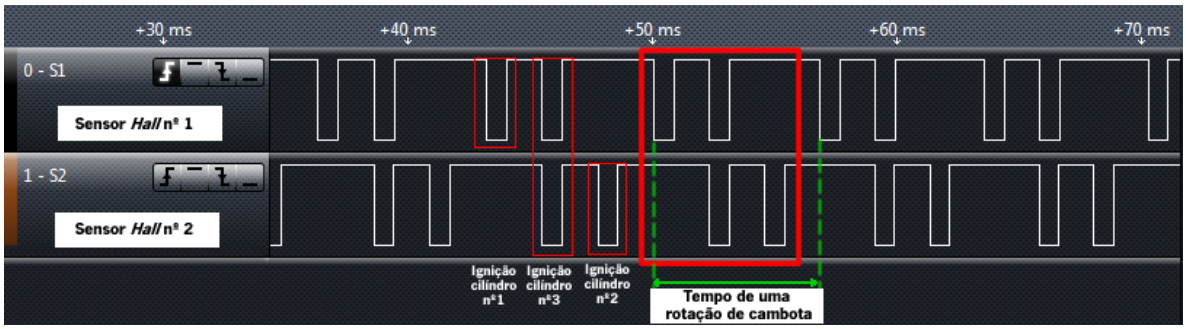


Figura 5.54 – Sinal digital do sensor de posição de cambota BMW K75

Através da análise dos tempos pelo *software* foram observados 4 tempos distintos assinalados na Figura 5.55. A partir dos tempos destes impulsos foi relacionada a frequência de rotação do motor de onde se concluiu que a duração para cada tempo distinto é:

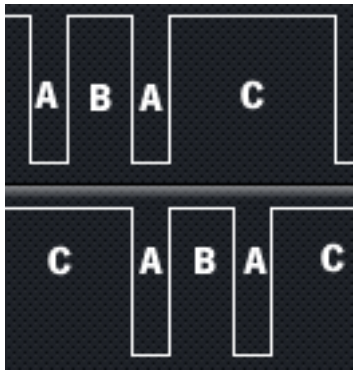


Figura 5.55 – Sequencia dos impulsos gerados pelo sensor de posição de cambota durante uma rotação

$$Duração_A = 0{,}14.\frac{1}{f}$$

$$Duração_B = 0{,}25.\frac{1}{f}$$

$$Duração_C = Duração_B + Duração_A + 0{,}22.\frac{1}{f}$$

Simulador de Rotação

Para simular a rotação do motor para leitura dos mapas de injeção foi utilizada uma placa programável Arduino Uno ligada ao módulo do controlo de injeção do motor BMW K75. De acordo com a análise do sensor de posição de cambota foi elaborado o código respetivo para a simulação

de várias rotações. É de notar que as saídas da placa foram diretamente ligadas à ficha de ligação do sensor de posição de cambota sendo os níveis de tensão compatíveis, não necessitando da construção de circuitos eletrónicos.

O esquema de ligações à placa podem ser vistas na Figura 5.56.

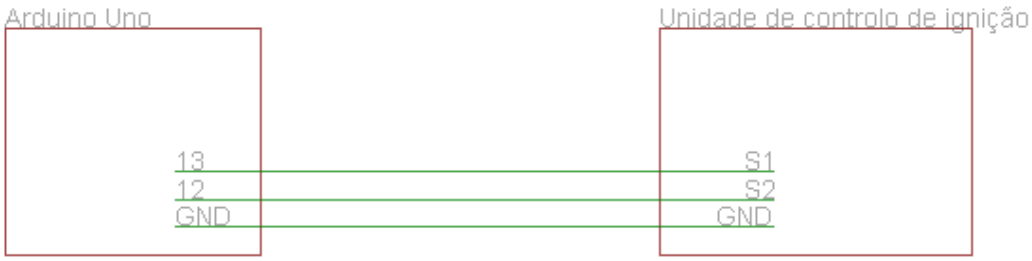


Figura 5.56 – Esquema de ligações do Arduino Uno ao módulo do controlo de ignição do BMW K75

No que diz respeito ao código foram calculados os períodos relativos a frequências de rotação dentro de uma gama de 500rpm a 8000rpm em intervalos de 500rpm. Estes períodos foram utilizados no código do programa como parâmetro de modo a calcular os quatro tempos distintos verificados anteriormente pela análise do sensor de posição de cambota. No que diz respeito à elaboração do código este foi construído de modo a repetir infinitamente a sequência lógica do sinal gerado pelo sensor de cambota visto também na análise do sensor de posição de cambota anteriormente. Para compreender melhor foi elaborado um diagrama da sequência dos impulsos baseado no código que pode ser visto Figura 5.57, onde se pode observar a sequência dos impulsos definidos mela mudança de tensão de saída dos pinos 12 e 13 do Arduino Uno respeitando as durações dos impulsos através de esperas definidas na inicialização do programa. Relativamente ao código gerado este pode ser visto no Anexo H.

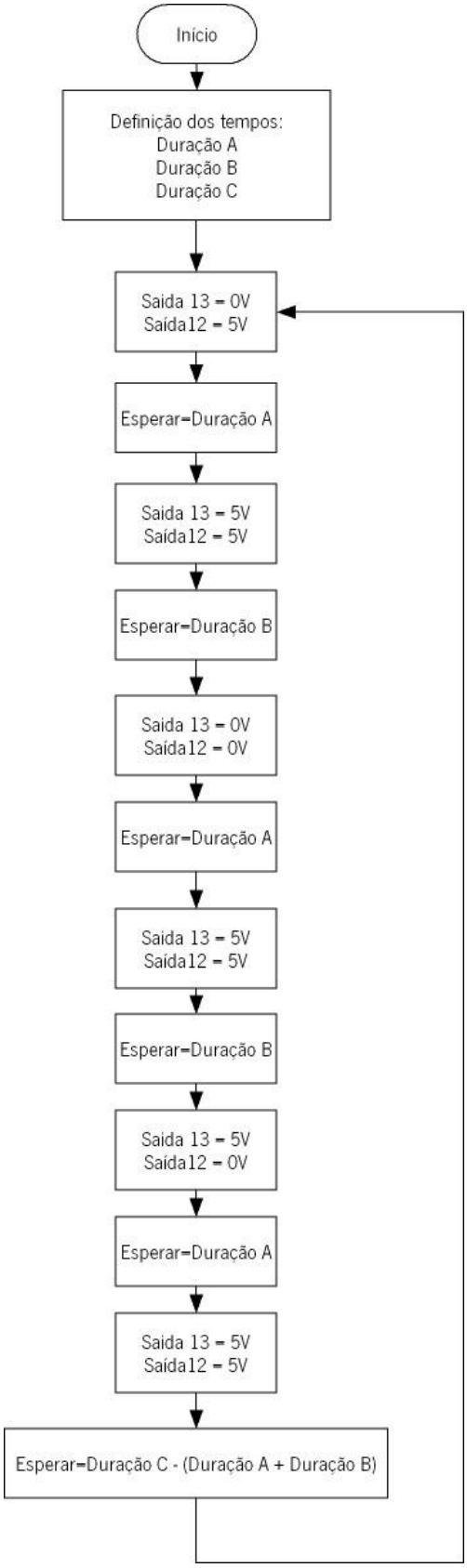


Figura 5.57 – Diagrama do código de programação para simulação de rotação

Simulação do sensor de temperatura do líquido de arrefecimento

De modo a obter os mapas de injeção respetivos ao funcionamento com temperaturas normais de funcionamento do motor foi elaborado um circuito eletrónico com base no tipo de sensor utilizado pelo sistema original BMW K75 com o objetivo de simulação de temperaturas.

Inicialmente foram registados os valores de tensão no pino 1 do sensor de temperatura de acordo com Figura 5.58 durante o funcionamento do motor através de um multímetro. Estes valores foram cruzados com os valores de temperatura monitorizados a pelo novo sistema de aquisição desenvolvido em 5.4. Os valores recolhidos são mostrados na Tabela 5.1.

Figura 5.58 – Sensor de temperatura do líquido de arrefecimento com os pinos identificados

Tabela 5.1 – Valores de tensão registados no pino 1 do sensor de temperatura do líquido de arrefecimento em função da temperatura

Temperatura (°C)	Tensão no pino 1 do sensor de temperatura do líquido de arrefecimento (V)
30,0	4,1
44,5	3,5
52,3	2,9
60,0	2,3
71,0	1,7
80,0	1,4

Para a simulação deste sensor foi construído um circuito resistivo com base em testes experimentais de forma a gerar as tensões registadas na Tabela 5.1 com a possibilidade de regulação destas.

A Figura 5.59 ilustra o esquema do circuito construído de onde se pode notar um potenciómetro R1 para variação da tensão e as ligações à ficha da cablagem designados por PINO1 e PINO2. Para a verificação funcional o motor foi arrancado com este circuito instalado no lugar do sensor de temperatura e com a tensão no PINO1 regulada de forma a corresponder à temperatura do motor no mesmo instante. O funcionamento correto do motor revelou a viabilidade da utilização deste circuito.

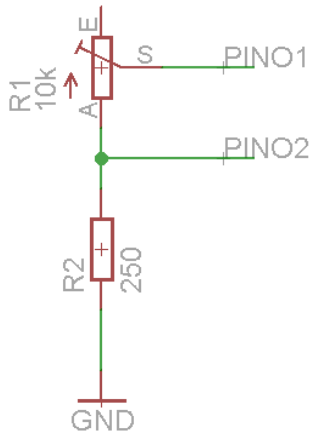


Figura 5.59 – Circuito simulador do sensor de temperatura do líquido de arrefecimento do motor

5.6.2 Determinação dos mapas de injeção

A determinação dos mapas de injeção foi efetuada através da medição da largura de impulso elétrico nos injetores. Anteriormente a este método foi tentada a leitura por quantidades injetadas que revelou ser um processo muito moroso e não funcional visto que os injetores paravam de funcionar com rotações simuladas acima de 5000rpm e era necessário obter uma quantidade de combustível considerável para uma aproximação realista dos valores.

Como procedimento para a determinação dos mapas foram definidas as entradas dos sensores do caudalímetro de acordo com os valores registados em 5.6.1 através da fixação da posição da comporta. Em relação ao sinal gerado pelo sensor IAT do caudalímetro não foi necessário redefinir vista a temperatura durante os testes de funcionamento ser semelhante à temperatura durante o processo de leitura dos valores à determinação dos mapas, verificada através da leitura da tensão do sensor anteriormente à simulação.

A simulação do sensor de temperatura foi feita através do circuito construído em 5.6.1 regulando o valor de tensão correspondente a cada uma das temperaturas registadas também em

5.6.1. A leitura da largura de impulso foi conseguida através do *Logic Analyzer* Saleae com a simulação da rotação pelo Arduino. Deste modo foi efetuada a programação da placa com todos os períodos equivalentes às frequências de rotação pré determinadas. Eletronicamente a largura do impulso foi medida de acordo com o esquema ilustrado na Figura 5.60.

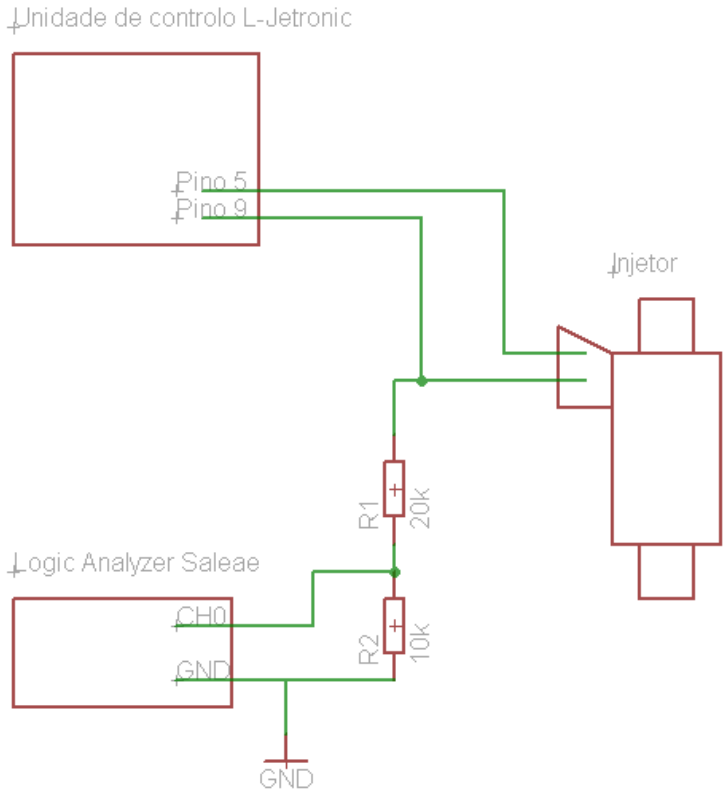


Figura 5.60 – Esquema de ligações do sinal proveniente da unidade de controlo L-Jetronic ao *Logic Analyzer*

A ligação de pelo menos um injetor à cablagem é necessária para que exista tensão na resistência R1 durante a simulação. Do circuito nota-se pela análise da unidade de controlo L-jetronic que o pino 5 corresponde à alimentação dos injetores e o pino 9 ao retorno do circuito que é controlado através do fecho do circuito à massa para a abertura do injetor. A ligação do *Logic Analyzer* foi efetuada com a instalação de um abaixador de tensão de modo perfazer um sinal de com uma amplitude que não danificasse o dispositivo e também não afetar o sinal do circuito de controlo do injetor.

É de notar que pela utilização do circuito da Figura 5.60 o impulso do sinal de injeção é invertido, Figura 5.61.

Figura 5.61 – Pulso de injeção invertido

Após todas as simulações são apresentadas na Figura 5.62 de onde se repara distintamente pela comparação de valores o enriquecimento da mistura em temperaturas abaixo dos 60°C.

	Tempo de impulso de injeção(*m* S)					
RPM	T=30°C	T=44,5°C	T=52°C	T=60°C	T=71°C	T=80°C
500	7,08	6,58	6,44	6,37	6,37	6,37
1000	6,74	6,58	6,44	6,37	6,37	6,37
1500	6,74	6,58	6,39	6,37	6,37	6,37
2000	6,74	6,58	6,69	6,37	6,37	6,37
2500	6,74	6,58	6,44	6,37	6,37	6,37
3000	5,99	5,85	5,73	5,65	5,67	5,67
3500	5,24	5,11	5,01	4,94	4,96	4,95
4000	4,67	4,57	4,48	4,42	4,42	4,42
4500	4,23	4,14	4,06	4,02	4,02	4,02
5000	3,88	3,80	3,73	3,69	3,69	3,69
5500	3,59	3,52	3,46	3,43	3,41	3,42
6000	3,35	2,92	3,23	3,20	3,19	3,19
6500	3,14	3,09	3,04	3,00	3,01	3,01
7000	2,97	2,92	2,87	2,84	2,84	2,83
7500	2,83	2,77	2,66	2,69	2,69	2,70
8000	2,69	2,64	2,60	2,58	2,59	2,58

Figura 5.62 – Mapa de duração de injeção em função da temperatura

6 INSTALAÇÃO DO SISTEMA MEGASQUIRTII

A instalação do sistema MegasquirtII foi efetuada instalando a cablagem, configuração de parâmetros do sistema e posterior afinação do sistema.

6.1 INSTALAÇÃO DA CABLAGEM

A instalação da cablagem foi feita através do esquema elaborado em 4.4. Toda a cablagem original foi retirada dando início à instalação. Durante a instalação foram fixados os relés, o suporte de fusíveis, instalação do novo sensor de posição de cambota, sensor de temperatura do ar de admissão e sensor do acelerador, instalação da ficha das bobinas de ignição e ligação ao canhão de ignição.

De uma forma geral o resultado da instalação está ilustrado na Figura 6.1.

Figura 6.1 – Instalação da cablagem MegaSquirtII

6.2 CONFIGURAÇÃO

A configuração da MegaSquirtII é necessária visto ser um sistema flexível e dinâmico. A configuração define o tipo de motor, como vai ser feita a gestão e os tipos de sensores utilizados.

Para proceder à configuração foi ligado um cabo série DB9 à placa e energizou-se a placa MegaSquirtII pelo cabo BD37 comutando o canhão de ignição para a posição 1 sem o fusível da

Ignição. Em seguida ligou-se o cabo DB9 ao computador já com os *drivers* do cabo instalados e iniciou-se o *software* TunerStudio MS Lite! V2.0.8.

Depois de iniciado o *software* TunerStudio MS Lite! V2.0.8 foi criado um novo projeto através da barra de menus, "File->Project->New Project", e inseridas as configurações ilustradas na Figura 6.2, deixando o separador CAN Devices uma vez que o protocolo de comunicação CAN não é utilizado.

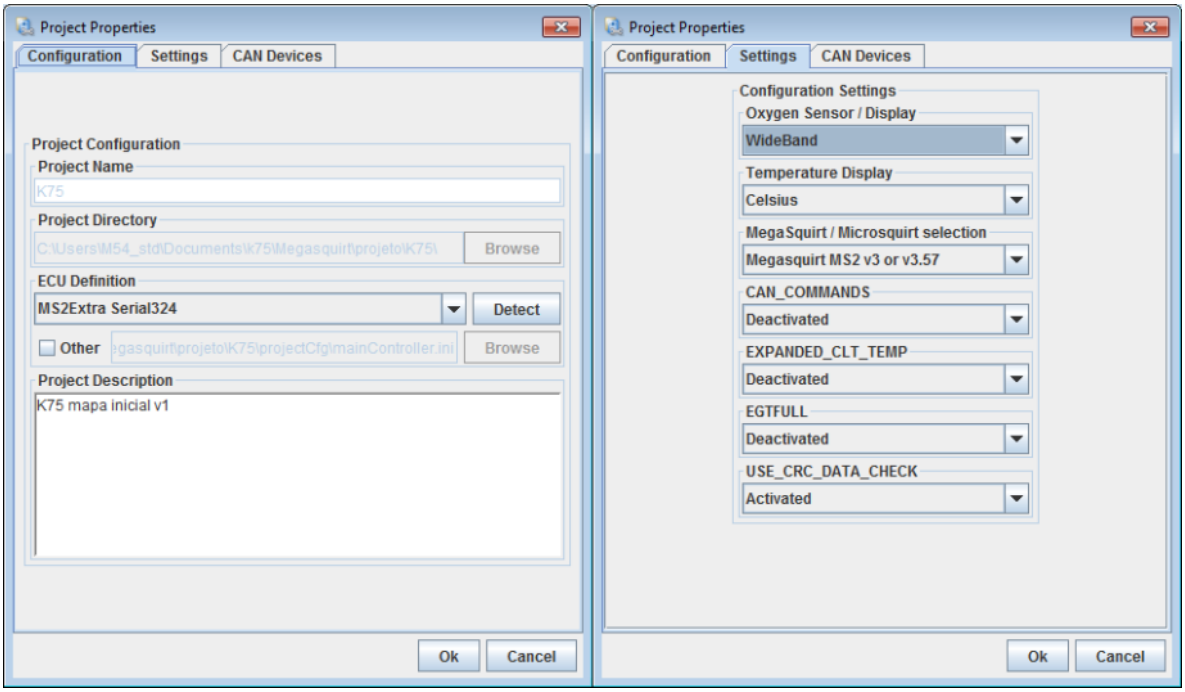


Figura 6.2 – Configurações do novo projeto MegaSquirtII

6.2.1 Parâmetros de Injeção

Os parâmetros relativos à injeção e ignição estão disponíveis para configuração através do botão "Basic Setup" no *software* TunerStudio MS Lite! V2.0.8. Através deste e de acordo com o manual em (Philip Ringwood, MS2-Extra - Conversion / Software Manual s.d.) foram definidas as constantes relativas aos parâmetros de injeção que se passam a explicar:

Janela – "Standard Injection"

Através da opção "Engine constants" acedeu-se às janelas da Figura 6.4. Através do botão "Required Fuel" definiu-se a o campo "Required Fuel" ao que foi necessário inserir a cilindrada do motor, número de cilindros, caudal dos injetores e razão ar-combustível já conhecidos através das

especificações do motor e das informações técnicas do injetor. O valor do campo "Required fuel" especifica a duração do pulso de injeção aquando a eficiência volumétrica é 100% e é calculado automaticamente a partir dos parâmetros definidos na janela "Required Fuel Calculator".

A Figura 6.3 ilustra os parâmetros definidos na configuração da janela "Standard Injection".

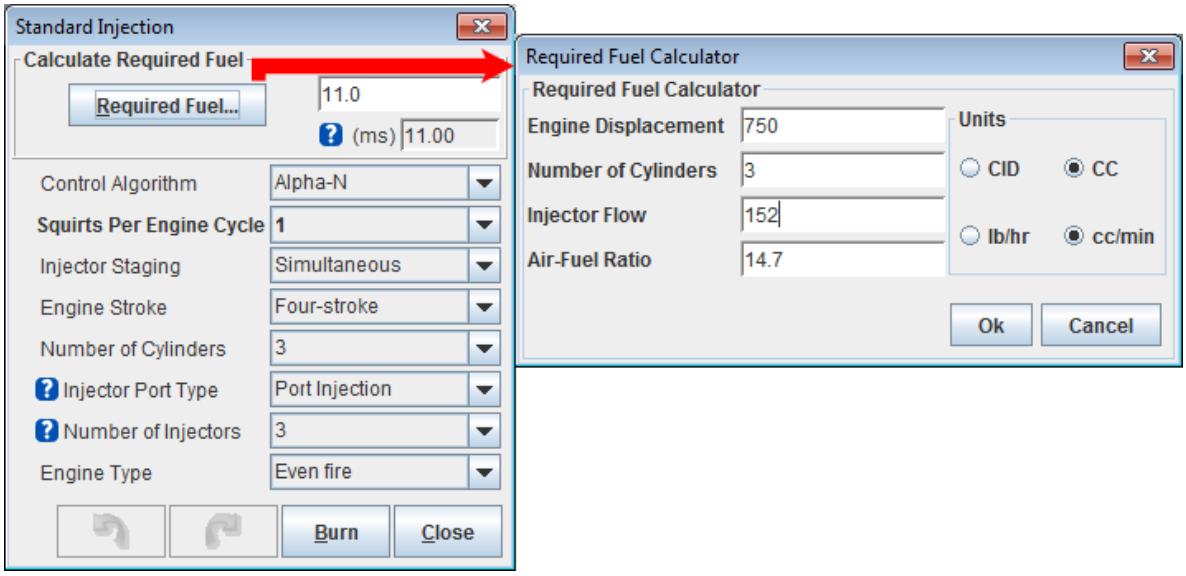


Figura 6.3 – Constantes do motor

Como algoritmo de controlo "Control Algorithm" foi escolhido o Alpha-N por utilizar a velocidade de rotação e posição do acelerador como parâmetros de entrada principais para o cálculo da duração do impulso de injeção.

O número de injeções por ciclos foi definido como uma injeção apenas visto que o sistema anterior tem este tipo de funcionamento, de entre as possibilidades do sistema, uma injeção por ciclo ou três injeções por ciclo (Philip Ringwood, MS2-Extra - Conversion / Software Manual s.d.).

É de notar que como o sensor de came é simulado na cambota obriga a que haja duas injeções por ciclo de motor.

O campo "Injector Staging" foi definido com o "Simultaneous" visto que o sistema de gestão MegaSquirtII apenas permite o controlo de 2 bancos de injeção para controlo de pares de injetores. Tendo um número de injetores impar não é possível fazer um controlo alternado de bancos de injeção e sendo assim escolhida a opção "Simultanneous" correspondente à energização de todos os injetores em simultâneo.

"Injector Port Type" especifica o tipo de injeção neste caso um MPI – *Multipoint Injection* definido como parâmetro "Port Injection".

Em relação aos restantes foram definidos através das especificações do motor (Churchill 1988).

Figura 6.4 – Parâmetros de Injeção

Janela – "More Engine Constants"

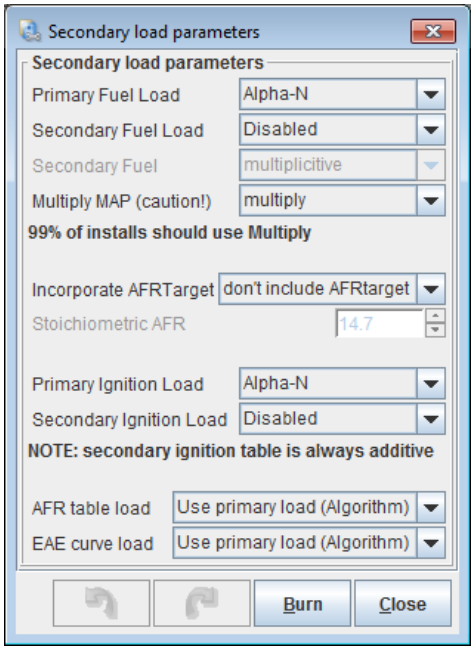


Figura 6.5 – Janela "More Engine Constants"

A Figura 2.1 ilustra as configurações efetuadas em "More Engine Constants" acedida a partir do botão "Basic Setup". Segundo consta de (Philip Ringwood, MS2-Extra - Conversion / Software Manual s.d.) os campos "Secondary Fuel Load" e Secondary Ignition Load" são utilizados em motores com admissão forçada de ar, e sendo assim não foram alterados. O campo "Incorporate AFRTarget" foi não foi alterado seguido das instruções em (ExtraEFI s.d.).

Relativamente aos restantes, foi selecionado o de acordo com algoritmo de controlo Alpha-N, já descrito anteriormente.

Janela – "injector Characteristics"

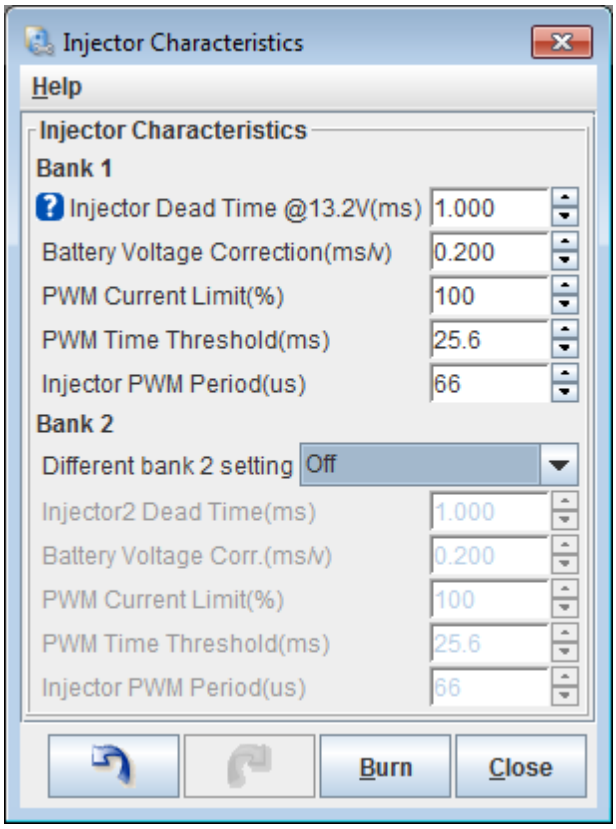


Figura 6.6 – Janela "Injector Characteristics"

A janela da Figura 6.6 permite selecionar os bancos de injeção ativos. Segundo o esquema elaborado de ligações elaborado em 4.4 apenas foi utilizado o banco 1 ao que foi desativado o banco 2.

Relativamente ao banco de injetores 1 foram utilizadas as definições aconselhadas em (ExtraEFI s.d.) e segundo as especificações consultadas sobre o injetor sendo que a impedância dos injetores é 16Ω representando um injetor de alta impedância, informação relevante à escolha dos parâmetros segundo a referencia citada anteriormente.

6.2.2 Parâmetros de Ignição/Sensor de Posição da Cambota

Janela "Ignition Options"

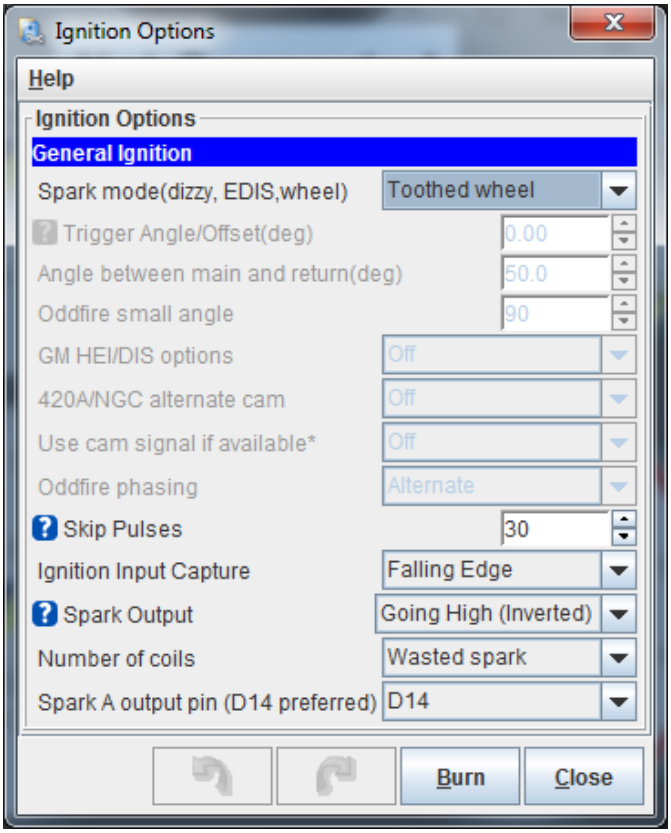


Figura 6.7 – Janela "Ignition Options"

Na janela da Figura 6.7 são inseridas as configurações relativas ao sensor de posição da cambota e ao *hardware* de ignição.

A partir sensor construído em 4.2.4 foi selecionado no campo "Spark mode" a opção "Toothed wheel" tendo em conta o manual em (Philip Ringwood, MS2-Extra - General Ignition Manual s.d.).

O campo "Skip Pulses" permite que o sistema sincronize a ignição para a primeira faísca definindo a contagem de pulsos inicial antes desta. Assim foi definido com o valor 30 correspondendo a um ciclo de funcionamento do motor tendo em conta o sensor construído em 4.2.4.

O campo "Ignition Input Capture" foi definido como "Falling Edge" tendo em conta mais uma vez o sensor de posição de cambota construído em 4.2.4. A característica dos sensores Infravermelhos utilizados implica uma leitura digital pelo sistema – onda quadrada. Quando existe a passagem de radiação do emissor para o receptor devido às falhas na roda codificadora o valor lógico do sensor passa de 1 para 0 – "Falling Edge".

De acordo com o *hardware* para o controlo de bobinas em 4.3.2 foram selecionados os campos:

- "Spark Output" – Going High (Inverted) de acordo com (Philip Ringwood, MS2-Extra - General Ignition Manual s.d.) relativamente à utilização do tipo de transístores para o controlo das bobinas.

Em "Number of Coils" selecionou-se "Wasted Spark" tendo em conta que são utilizadas bobines individuais para a ignição e o sensor de posição da cambota simula o sensor de came.

- "Spark A Output pin" – "D14" uma vez que o JS10 é utilizado para leitura do sensor do came.

Janela "Trigger Wheel Settings"

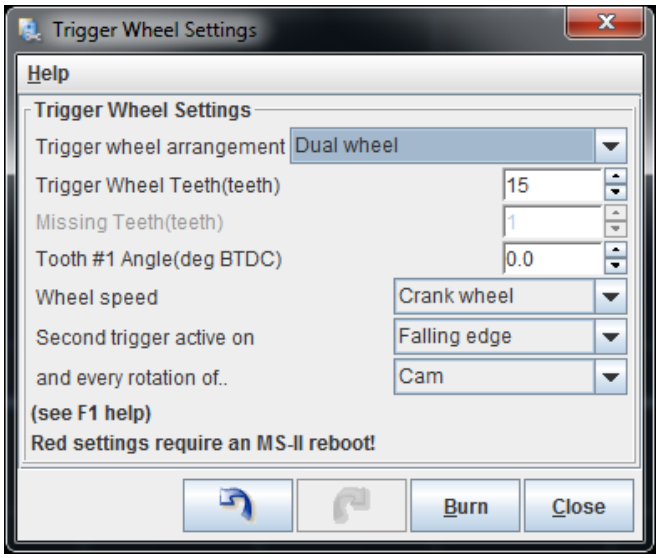


Figura 6.8 – Janela "Trigger Wheel Settings"

A janela "Trigger Wheel Settings", Figura 6.8, especifica ao sistema de gestão informações sobre a roda codificadora e do sensor do came.

No campo "Trigger wheel arrangement" foi selecionada a opção Dual Wheel visto o sensor de posição da cambota incluir dois sensores, 4.2.4.

Relativamente ao sensor primário ou da cambota conforme (James Murray, MS2-Extra Dual Wheel Manual s.d.) é necessário especificar o número de dentes da roda codificador, campo "Trigger Wheel Teeth(teeth)" que segundo a roda codificadora construída em 4.2.4 são 15.

Uma vez que o sensor primário não especifica ao sistema de gestão o reinício da rotação da cambota é utilizado o segundo sensor (sensor do came simulado) para o efeito. Os campos "Wheel speed", "Second trigger active on" e "and every rotation of.." especificam como é que a leitura da velocidade e posição da cambota do motor é lida e tratada. Neste caso a velocidade do motor é derivada do sensor primário e o reinício de rotação é acionado pelo sensor de came simulado. Estas configurações foram efetuadas através de (James Murray, Megasquirt-3 MS3 Trigger Wheel s.d.) pela configuração de uma variante ao sistema *NipponDenso CAS*, que apesar de serem configurações direcionadas à MegaSquirt-3 são compatíveis com a MegaSquirtII.

6.2.3 Calibração de Sensores

Para o correto funcionamento do sistema de gestão é necessário proceder à calibração de alguns sensores aplicados ao sistema, nomeadamente o TPS, sensor de temperatura do ar de admissão e sensor de temperatura do líquido de arrefecimento do motor. A calibração da sonda lambda não foi possível visto que foi danificada durante os testes de funcionamento com a instalação original. Relativamente à tensão da bateria e do sensor de pressão foram utilizados os valores pré configurados pelo sistema de gestão.

A calibração dos sensores é feita através do *software* TunerStudio MS Lite! V2.0.8 com o sistema de gestão energizado através do canhão de ignição e com o cabo série DB9 ligado à MegaSquirtII.

6.2.3.1 Calibração do TPS

A calibração do sensor de posição do acelerador foi realizada através do *software* a partir opção "Tools->Calibrate TPS" acedida através da barra de menus. Depois de aberta a janela "Calibrate Throttle Position Sensor" foi seguido o procedimento:

1. Rodar o acelerador até que este esteja totalmente fechado e carregar no botão n°1 como exemplifica a Figura 6.9;

2. Rodar o acelerador até que este esteja totalmente aberto e carregar no botão n°2, Figura 6.9;

3. Guardar a calibração através do botão n°3, Figura 6.9.

Após a calibração a agulha do manómetro digital "Throttle Position" no software TunerStudio MS Lite! V2.0.8 deve mover-se de acordo com a abertura do acelerador dentro dos limites 0% e 100%.

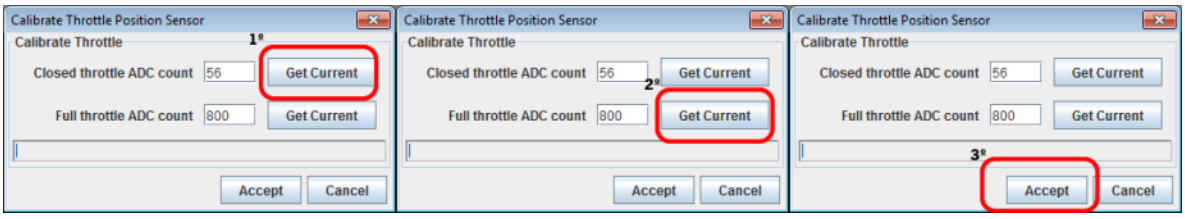


Figura 6.9 – Ferramenta de calibração do TPS

6.2.3.2 Calibração do sensor de temperatura do líquido de arrefecimento e sensor de temperatura do ar de admissão

A calibração do sensor de temperatura do líquido de arrefecimento foi efetuada através da opção "Tools->Calibrate Thermistor Tables". Após a abertura da janela "Calibrate Thermistor Tables" procedeu-se à calibração de acordo com a sequência na Figura 6.10.

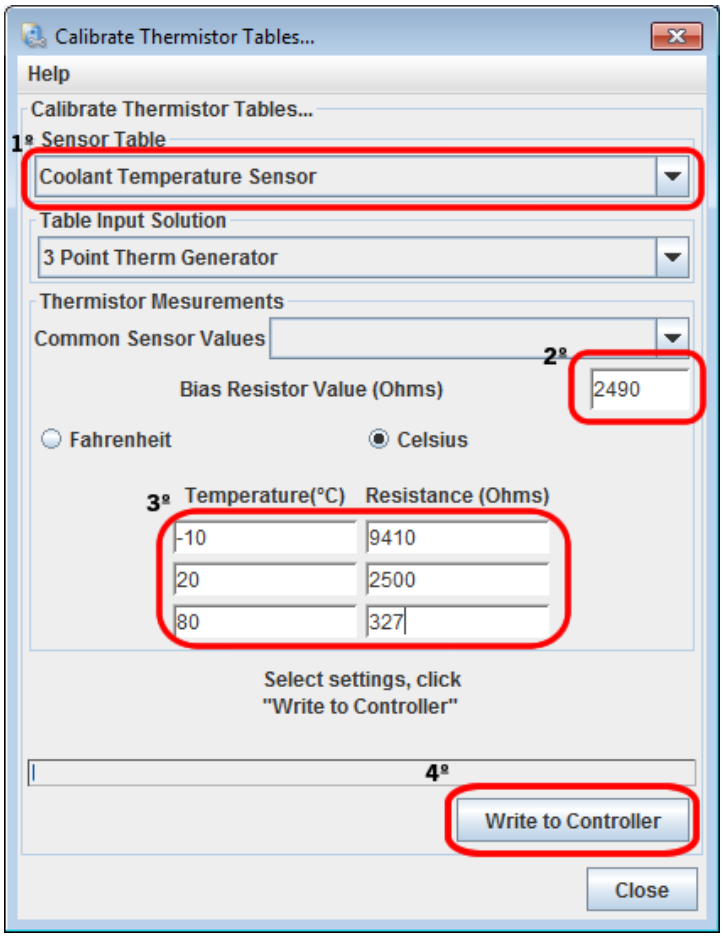


Figura 6.10 – Calibração do sensor de temperatura do líquido de arrefecimento

O campo "Sensor Table" permite a selecionar o sensor de temperatura a calibrar de entre o sensor de temperatura do líquido de arrefecimento do motor e o sensor de temperatura do ar de admissão.

A opção selecionada no campo "Table Input Solution" permite gerar a curva característica do sensor com base em três pontos conhecidos inseridos no ponto 3° da sequência de calibração, Figura 6.10.

No campo "Bias Resistor Value" foi inserido o valor da resistência já conhecida, 2490Ω, presente na placa v3.0 do MegaSquirtII segundo consta de (Bruce Bowling, Megamanual - Wiring and Sensors 2013).

Os três valores conhecidos inseridos no passo 3° da sequência de calibração foram calculados a partir de valores mencionados por (Volvo Car Corporation 1988) transcritos na

Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Termístor Bosch 0280130032 de (Volvo Car Corporation 1988)

Temperatura (°C)	Resistência (Ω)
-10	10560 – 8260
20	2720 – 2280
80	364 – 290

Para determinar a resistência referente à temperatura foi calculada a resistência média de acordo com a fórmula:

$$R_{T_{média}} = \frac{R_{T_{máx}} + R_{T_{min}}}{2}$$

Desta forma:

$$R_{-10\,°C} = \frac{10560 + 8260}{2} = 9410\ \Omega$$

$$R_{20\,°C} = \frac{2720 + 2280}{2} = 2500\ \Omega$$

$$R_{80\,°C} = \frac{364 + 290}{2} = 327\ \Omega$$

Após executado o passo n°4 procedeu-se à calibração do sensor de temperatura do ar de admissão.

Para a calibração do sensor de temperatura do ar de admissão foi utilizado o mesmo procedimento da calibração do sensor de temperatura do líquido de arrefecimento do motor, Figura 6.11. A falta de documentação deste sensor no que diz respeito à curva característica do termístor e referência do sensor por não existir levou a que fossem determinados os valores com base em testes efetuados.

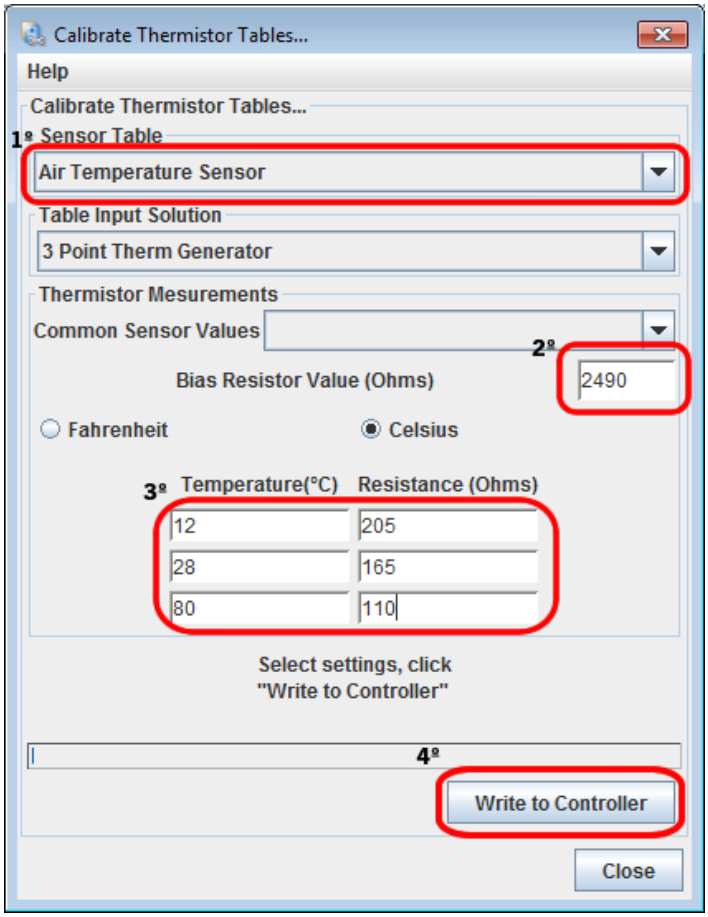


Figura 6.11 – Calibração IAT

Para determinação dos valores o sensor foi sujeito a uma variação de temperatura superior e inferior à temperatura ambiente de 28°C.

Para medição da temperatura no sensor foi utilizado um termómetro infravermelho ao mesmo tempo que a resistência do sensor era registada através da monitorização de um multímetro.

De forma a registar valores com uma temperatura superior à temperatura ambiente o sensor foi aquecido através de uma fonte de calor.

Para valores inferiores à temperatura ambiente o sensor foi embebido num líquido não condutor com uma temperatura de 12°C. Os valores registados após os testes ao sensor estão mostrados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Valores registados do sensor IAT

Temperatura (°C)	Resistência (Ω)
12	205
28	165
80	110

6.3 AFINAÇÃO

A afinação de parâmetros do sistema de gestão MegaSquirtII consistiu na modificação do mapa de eficiência volumétrica e avanço da ignição até o motor arrancar para posterior afinação com o motor acoplado ao freio hidráulico. Este processo foi extremamente demorado visto as dificuldades encontradas assim como o método utilizado na afinação. O facto da sonda lambda estar danificada também contribuiu negativamente visto que não era possível obter informações relativamente ao estado da mistura aquando o funcionamento do motor e por sua vez proceder a afinações mais exatas.

6.3.1 Ignição

Inicialmente como configuração foi definido um avanço de ignição fixo igual ao referido no manual do motor BMW K75 correspondente a 6º antes do ponto morto superior (Churchill 1988). O ajuste de ignição foi efetuado com o circuito de combustível fechado com a ajuda do colega Pedro Santos que verificava o avanço de ignição com uma pistola de ponto CZ sincro, Figura 6.12, à retaguarda do motor sem o freio hidráulico acoplado.

Figura 6.12 – Pistola de ponto CZ sincro

A observação do avanço da ignição era efetuada através de marcações inscritas no volante do motor de modo a identificar os cilindros e dos graus no bloco feitas com a ajuda de um círculo graduado.

Como procedimento a garra indutiva da pistola de ponto era atracada no cabo de vela do cilindro nº1, o avanço da pistola de ponto era posto a zero e em seguida era verificado o avanço e ajustado com base nas marcações efetuadas no bloco, Figura 6.13, energizando o motor de arranque.

O avanço de ignição foi ajustado através de aproximações sucessivas. Para a introdução do avanço de recorreu-se à janela "More Ignition Options" acedida pelo botão "Basic Settings" do *software.*

Como referido anteriormente numa primeira fase optou-se por utilizar o avanço de ignição fixo. Através do ajuste de ignição verificado com a pistola de ponto foi determinado o valor de 14º no *software* correspondente a aproximadamente 6º reais de avanço. A distinção entre o avanço fixo ou utilização de avanço variável é definido no campo "Fixed Advance" da janela "More Ignition Options", Figura 6.14.

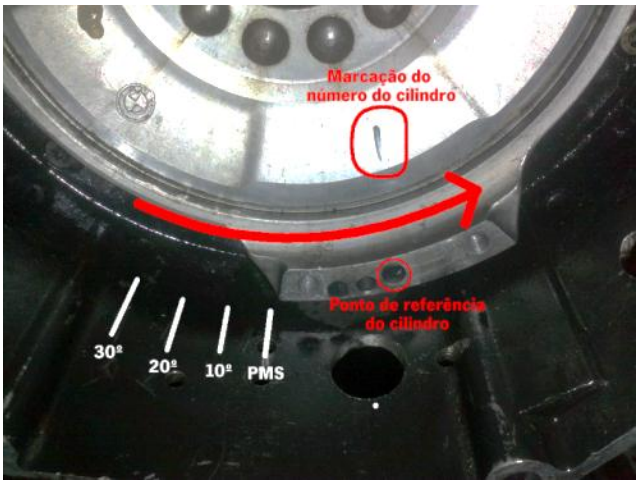


Figura 6.13 – Marcações de ajuste do avanço de ignição

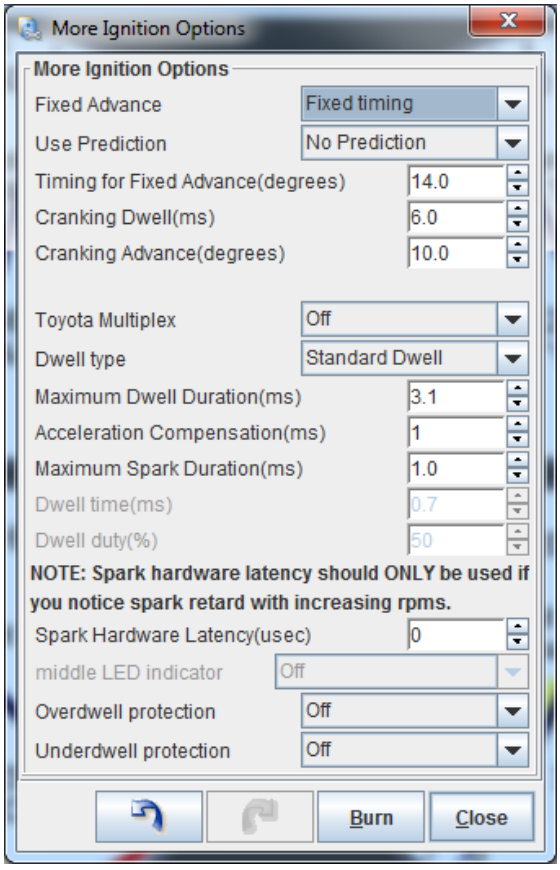


Figura 6.14 – Ajustes de ignição

De entre outros parâmetros foi modificado o Dwell e o avanço do motor aquando o arranque ("Cranking Dwell" e "Cranking Advance"). Estes parâmetros são importantes para o arranque do motor visto que as bobinas demoram mais tempo a armazenar energia para gerar uma faísca ótima e pela velocidade do motor que é muito mais lenta, cerca de 200rpm.

Em seguida foi determinado como valor ótimo 3.1ms de *dwell* máximo e 1.0ms de duração máxima da faísca – "Maximum Spark Duration". O valor *Dwell* ótimo não foi estimado devido à falta de recursos existentes no laboratório pelo que foi testado pela observação da qualidade da faísca com a vela fora do motor como também pela observação do *strobe* da pistola de ponto com a vela roscada na cabeça do motor.

Todos os parâmetro dos restantes campos foram definidos de acordo com (Philip Ringwood, MS2-Extra - General Ignition Manual 2012).

6.3.2 Eficiência Volumétrica

O mapa de eficiência volumétrica da Figura 6.15 foi conseguido após o arranque do motor e por sucessivas modificações dos valores durante a gama de rotação em função do sensor de posição do acelerador. O mapa é acedido através do botão "Basic Setup" e selecionando a opção "Fuel VE table 1".

Após a verificação de alimentação de combustível e afinação do avanço de ignição em 6.3.1, o motor de arranque foi energizado à medida que se abria o acelerador até o motor arrancar. Depois do arranque do motor a posição do acelerador era variada de modo a percorrer a toda a gama de rotação e posição do acelerador para a afinação dos valores de eficiência volumétrica.

Na afinação da eficiência volumetria era tida em conta a aceleração do motor isto é, a partir de um ponto da tabela de funcionamento do motor, a abertura do acelerador era aumentada esperando o aumento de rotação. O valor da posição seguinte era diminuído em intervalos de 5 caso o motor desacelerasse significando uma mistura muito rica. Este procedimento era efetuado até o motor acelerar atingindo o seguinte valor no mapa.

Em caso de mistura pobre durante a abertura do acelerador foi verificado que o motor era incapaz de acelerar o que implicaria um aumento da eficiência volumétrica para o ponto específico no mapa.

A posição do acelerador e rotação é demarcada pelo *software* em tempo real por um ponto azul que permitiu verificar o ponto do mapa a afinar como demonstra a Figura 6.15. Ainda da Figura 6.15 nota-se pelo ponto azul o motor a funcionar com uma velocidade de 1101rpm aproximadamente e com o acelerador a 30%. Neste mapa a quantidade de injeção ("Fuel Load%") é definida pela posição do acelerador visto a escolha do algoritmo de controlo em 6.2.1, Alpha-N – posição do acelerador rotação.

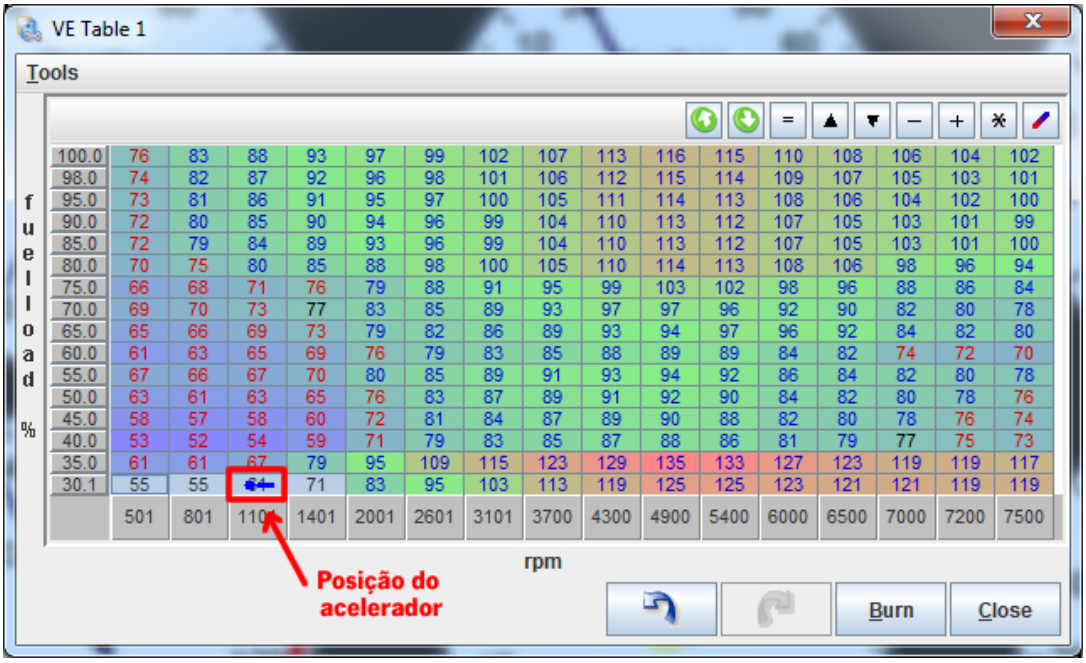


Figura 6.15 – Mapa da eficiência volumétrica

7 ANÁLISE DE RESULTADOS E RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Durante o processo de afinação do motor foram detetados problemas relativos ao funcionamento do motor e ao sistema de gestão utilizado MegaSquritII. Detalhes passam a ser descritos nos subcapítulos seguintes.

7.1.1 Placa MegaSquirtII V3.0

Durante os testes de funcionamento dos sensores foi detetado o não funcionamento do sensor primário do sensor de posição de cambota pela observação do não funcionamento do tacómetro digital no *software* TunerStudio MS Lite! V2.0.8. Depois da construção de um novo circuito para o sensor de posição da cambota descrito em 6.4.2, foi verificado que o problema residia na placa V3.0 do MegaSquirtII. Através de uma análise comparativa ao *layout* da Figura 4.13 e os componentes presentes na placa foi detetada várias resistências de valor incorreto assim como os potenciómetros R52 e R56 trocados. Face a esta observação foram reinstalados as resistências com os valores corretos na placa V3.0.

Contudo a correção da instalação das resistências não solucionou o problema, assim para o solucionar foi consultado o esquema eletrónico do circuito de condicionamento do sinal da cambota Figura 7.6. Através análise do circuito conclui-se que o circuito "True zero-crossing detector" identificado na Figura 7.1 não era necessário visto a utilização de sensores óticos com saída digital. A remoção do circuito mencionado foi efetuada com a remoção das resistências R45 e R44 e posterior instalação de um *jumper* identificado no esquema da Figura 7.1 e Figura 7.2 fisicamente instalado na placa V3.0.

Após a instalação do *jumper* o potenciómetro R65 foi ajustado de forma a obter variação do sinal à saída do pino n°1 circuito integrado U7A identificado na Figura 7.1. A variação da saída foi verificada através de um multímetro e estimulando o sensor (interrompendo o feixe infravermelho do emissor). Depois da verificação com o multímetro o sensor de posição da cambota foi este foi instalado e verificou-se o correto funcionamento pelo informação apresentada pelo tacómetro digital do *software* TunerStudio MS Lite! V2.0.8 aquando a energização do motor de arranque.

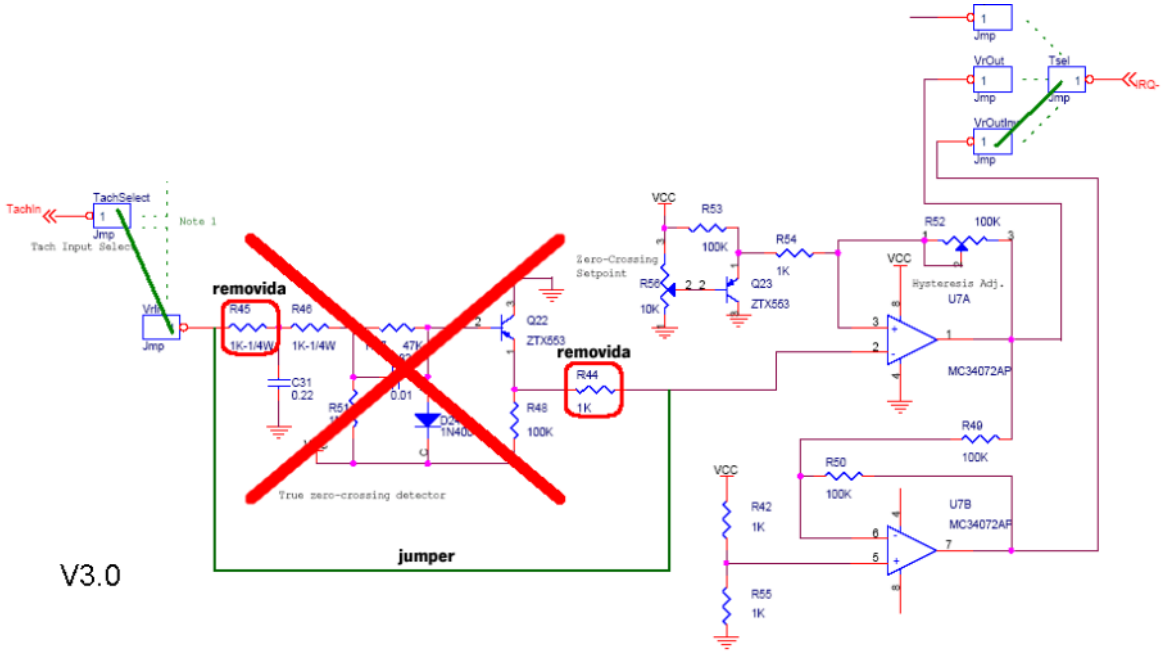


Figura 7.1 – Circuito de condicionamento da placa V3.0 referente ao sensor de posição da cambota adaptado de (Philip Ringwood, MS1-Extra Ignition Hardware manual 17)

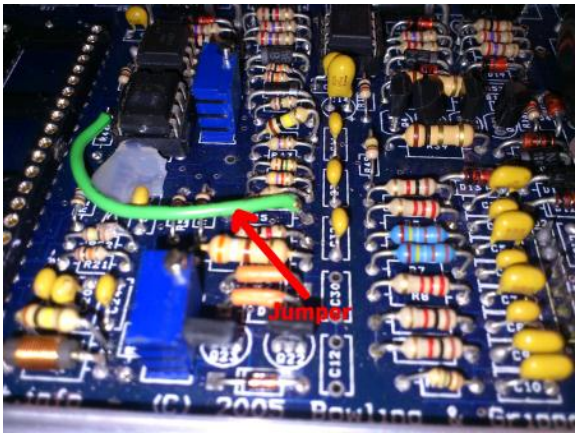


Figura 7.2 – Alteração na placa V3.0, *jumper* assinalado.

Figura 7.3 – Roda codificadora revestida a tinta preta.

Ainda de modo a prevenir o estímulo dos sensores infravermelhos por possíveis reflexos da luz infravermelha induzindo erros na leitura pelo sistema de gestão, a roda codificadora foi revestida com tinta preta como demonstra a Figura 7.3.

7.1.2 Sensor de posição da cambota

A construção de um novo circuito de posição da cambota foi levada a cabo de modo a solucionar as dificuldades na leitura da rotação observados, partindo do princípio de que o problema não estava na placa V3.0 da MegaSquirtII. O circuito foi feito numa placa de circuito perfurada onde foram instalados novos sensores infravermelhos (conjunto emissor-recetor) provenientes de uma impressora. A Figura 7.4 ilustra a nova placa electrónica fixada no suporte reaproveitado do sensor de posição de cambota construído em 4.2.4.

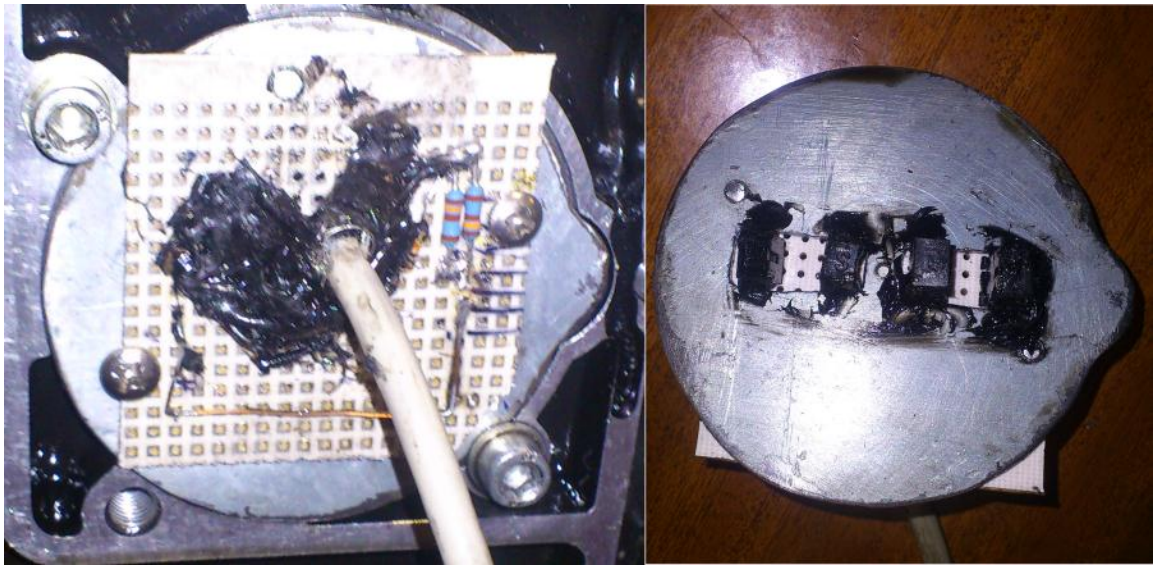


Figura 7.4 – Novo sensor de posição da cambota

A adaptação dos sensores teve em conta a profundidade entre suporte de fixação e roda codificadora assim como o espaçamento entre o sensor/receptor para evitar o choque da coroa da roda codificadora com os sensores.

O circuito eletrónico foi concebido com base em testes aos sensores através de um multímetro que permitiu identificar os emissores e a polaridade através do teste de díodo do multímetro.

Para a determinação da resistência limitadora de corrente dos emissores infravermelhos foi aplicado um potenciómetro de 5kΩ e alimentado à tensão fornecida pela placa V3.0 com o valor de 5V, Figura 7.5. Com a câmara de um telemóvel apontada ao emissor a resistência do potenciómetro foi reduzida até se verificar a presença de luz pelo emissor.

Mais uma vez através do multímetro foi verificada o valor da resistência no potenciómetro apresentando aproximadamente 65Ω.

Para a construção do circuito devido à não existência de resistências com este valor no laboratório foram utilizadas duas resistências de 130Ω em paralelo perfazendo os 65Ω.

Ainda na construção do circuito foi adicionada uma resistência R3 com o valor de 10kΩ identificada na Figura 7.6 de modo a evitar o curto-circuito do receptor do sensor primário (sensor de cambota).

A adição de uma resistência semelhante no recetor do sensor secundário (sensor do came simulado) não é necessária visto que a saída liga diretamente ao pino de entrada do microcontrolador MC9S12C64 do MegaSquirtII.

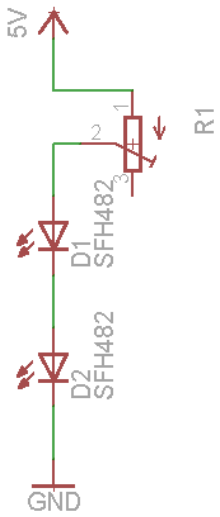


Figura 7.5 – Esquema do circuito para determinação da resistência limitadora de corrente dos emissores infravermelhos

Para o reforçar a resistência da cablagem soldada à placa e das proteções dos sensores infravermelhos foi aplicado silicone preto como demonstra a Figura 7.4.

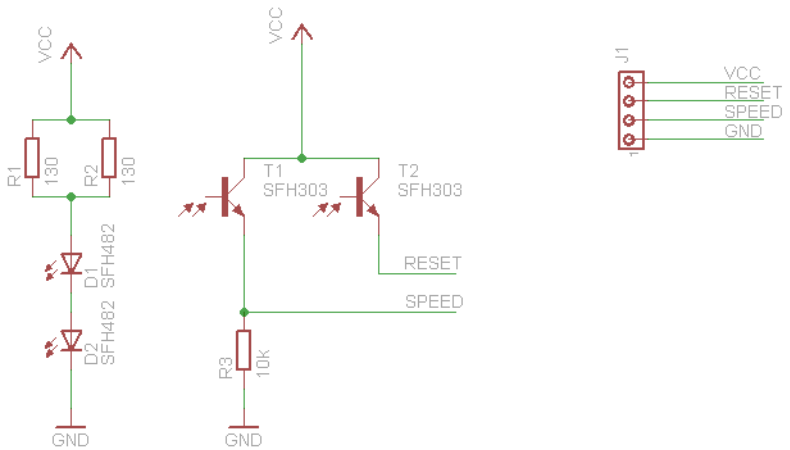


Figura 7.6 – Esquema eletrónico da nova placa do sensor de posição da cambota

7.1.3 Ignição

Durante a afinação do motor um dos obstáculos foi a constante carbonização das velas provocado pelo excesso de combustível. Este problema levava a que as velas de ignição fossem retiradas do motor com frequência para serem limpas resultando numa deterioração dos elétrodos prematuramente. Uma das possibilidades que levava à falha da ignição é o *Dwell* que foi experimentalmente aumentado resultando na falha dos *drivers* VB921 das bobinas de ignição.

A falha dos *drivers* VB921 foi verificada após o teste com velas novas através da pistola de ponto observando o *strobe* enquanto energizado o motor de arranque. Uma breve observação à placa V3.0 onde os *drivers* foram instalados revelou a causa da falha destes componentes por perda de contacto com o dissipador e posterior sobreaquecimento, Figura 7.7.

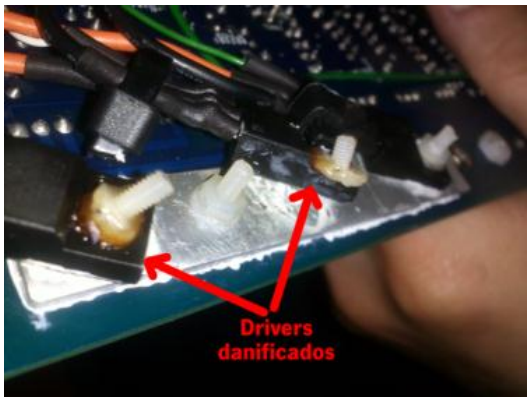


Figura 7.7 – *Drivers* VB921 danificados

Dos *Drivers* de ignição foi averiguada a falha de dois dos três *drivers*, como se pode ver na Figura 7.7 pelo estado carbonizado dos parafusos de fixação.

A substituição destes componentes causou um impedimento durante a afinação do sistema de gestão devido à escassez dos mesmos e pelo tempo disponível à realização do projeto. Assim foi efetuada uma procura de componentes semelhantes com o mesmo tipo de aplicação. A procura de componentes foi realizada através do termo *Logic Level Gate IGBT*, sendo este o termo que visa a compatibilidade como o componente VB921. Dos IGBT pesquisados foi registada numa lista as referências seguintes:

- FGB3236_F085;
- IRGS14C40L/IRGSL14C40L/IRGB14C40LPbF;
- NGB18N40CLB;
- BUK856-400.

Da lista referida anteriormente foi dada relevância ao IGBT FGB3236_F085 por permitir a corrente máxima de 44 amperes. Com o tempo útil disponível e pela particularidade destes componentes apenas foi possível adquirir dois IGBT's com a referência IRGB14C40LPbF, Figura 7.8, que apresenta uma corrente máxima em condução continua entre o coletor e o emissor de 20 amperes com o componente a uma temperatura de 25°C. Apesar do IGBT mencionado anteriormente ser inferior ao IGBT FGB3236_F085, este é quase três vezes superior em capacidade de condução de corrente ao VB921 que apresenta uma corrente máxima contínua entre o coletor e emissor de 7.5 amperes e sendo assim viável à substituição dos IGBT's danificados.

Figura 7.8 – IGBT IRGB14C40LPbF

De modo a evitar a falha destes componentes por sobreaquecimento estes foram fixados exteriormente à caixa do sistema de gestão como demonstra a Figura 7.9. O novo local onde os componentes foram instalados permite maior dissipação de calor e a verificação da temperatura destes caso necessária.

No processo de reinstalação dos componentes foi necessário recortar uma das tampas da caixa do sistema de gestão para permitir a passagem dos condutores elétricos.

Devido às correntes elétricas conduzidas por estes componentes foi efetuado o isolamento através de manga termo retrátil nas uniões entre os condutores elétricos e os pinos do IGBT. Para o isolamento da face metálica do suporte de fixação do IGBT foi acomodada uma mica de isolamento também indicado na Figura 7.9. Não mostrado na Figura 7.9 mas presente, foi instalado um separador plástico entre o parafuso de suporte e a face metálica do suporte de fixação do IGBT tendo o cuidado de não o esmagar durante o aperto do parafuso. Através do teste de continuidade do multímetro foi verificada a não continuidade entre a face metálica do suporte de fixação do IGBT e a caixa do sistema de gestão.

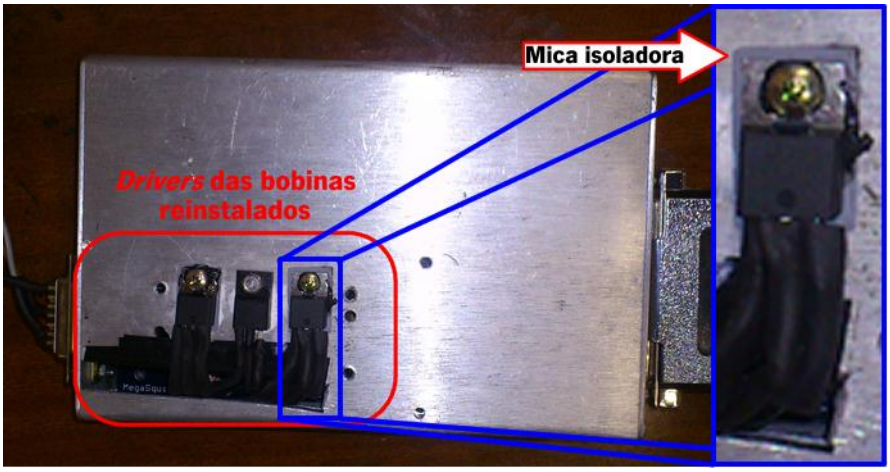


Figura 7.9 – IGBT's instalados na face exterior da caixa do sistema de gestão MegaSquirtII V3.0

7.1.4 Sensor IAT

O senhor IAT proveniente do caudalímetro também acabou por ser substituído por um outro sensor IAT existente no laboratório. A substituição foi necessária devido à ocorrência de reteres no canal de admissão durante a afinação que acabaram por danificar o sensor instalado. Devido a esta consequência, a escolha do sensor foi condicionada de acordo com disponibilidade destes tipos de sensores existentes no laboratório, tendo em conta a compatibilidade com o sistema de gestão e de modo a dar continuidade ao processo de afinação.

Figura 7.10 – Novo sensor IAT instalado

Para a instalação do novo sensor foi necessário modificar a cablagem de modo a acomodar uma ficha Bosch de 2 vias compatível com o sensor. Em seguida foi efetuada fixação do sensor na entrada do canal de admissão de ar, Figura 7.10.

Devido às diferenças para com o sensor IAT anteriormente instalado foi necessário proceder à sua calibração da mesma forma que em 6.2.3.

8 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Após a realização deste trabalho foram atingidos todos os objetivos à exceção da afinação dos parâmetros o que resultou no funcionamento parcial do motor. É de notar este último não foi conseguido devido à falta de tempo devido à dimensão do trabalho, constante ocorrência de problemas e dependências devido à partilha de recursos. Contudo o sistema de gestão foi implementado com sucesso, concluindo assim a sua viabilidade de implementação no motor BMW K75 com o ciclo *Miller.*

Durante a fase de testes de funcionamento do motor original BWM K75 houve ocorrência de falhas a nível mecânico e eletrónico, as quais foram ultrapassados pelo diagnóstico e reparação de componentes, que permitiram um conhecimento detalhado sobre a unidade de controlo L-Jetronic e a unidade de controlo de ignição. Esta familiaridade permitiu a elaboração de um procedimento para a leitura dos mapas de injeção, descrito em 5.6.2.

Ainda durante a fase de testes foi desenvolvido e construído um sistema de aquisição com base numa placa programável Arduino, necessário para dar seguimento ao trabalho. Este sistema provou ser funcional apresentando melhorias significativas ao sistema de aquisição existente no laboratório, nomeadamente no aumento de resolução e exatidão assim como aumento da taxa de aquisição.

Durante a instalação do novo sistema MegaSquirt a escolha de sensores e parametrização da unidade MegaSquirt revelou ser acertada pelo funcionamento, ainda que tenham havido alguns problemas relativos ao *hardware* atribuídos à falha na assemblagem da placa V3.0, e ao aumento excessivo do tempo *Dwell* que acabou por danificar os IGBT's durante a afinação.

A utilização do controlador do sensor lambda constitui uma ferramenta muito útil durante a afinação de mapas visto que permite o feedback em tempo real sobre a riqueza da mistura.

O freio hidráulico representa um equipamento necessário para a afinação do motor por permitir o controlo da velocidade do motor para uma determinada posição do acelerador assim como traçar a curva de binário de modo a avaliar a potência do motor.

A ocorrência de reteres pela admissão durante a afinação sugere uma mistura rica ou falha no controlo de ignição. A verificação do sinal produzido pelo sensor de posição de cambota

juntamente com o sinal das bobinas elimina a possibilidade de falha no controlo da ignição, ao que se conclui que o sistema MegaSquirt, funciona com as alterações relativas ao controlo das bobines e com o novo sensor de posição de cambota.

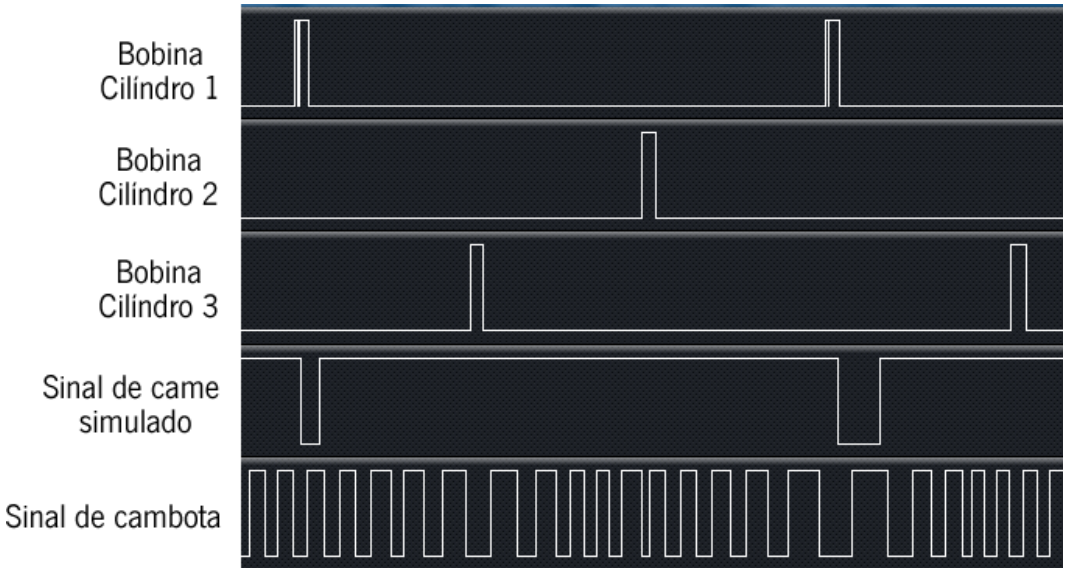


Figura 8.1 – Sinal das bobinas e sinais do sensor de posição de cambota

8.1.1 Trabalhos Futuros

Embora o sistema de gestão tenha sido instalado e funcional existem ainda melhorias e afinações que podem ser levadas avante. Nomeadamente numa primeira fase:

- Instalação do sensor lambda visto que este proporcionará um *feedback* durante as afinações do mapa de eficiência volumétrica;
- Recolocação do sensor IAT;
- Reparação do freio e utilização deste para afinação do mapa de eficiência volumétrica e mapa avanço de ignição;
- Correção e alteração dos parâmetros relativos à primeira injeção aquando o arranque e durante o motor frio de modo a que o este arranque facilmente.

Numa segunda fase:

- Instalação de um sensor *Knock;*

- Estudo e implementação de um sensor no came de modo a permitir injeção e ignição sequencial;
- Teste de outras rodas codificadoras de modo a verificar um possível aumento de precisão na injeção e ignição através de testes no dinamómetro;
- Substituição dos IGBT's da placa pelos FGB3236_F085, referidos em 7.1.3.

Relativamente ao sistema de aquisição existem também possíveis melhorias tanto a nível de *Hardware* como *Software*. No *hardware* as melhorias incidem sobre:

- o esquema elétrico do circuito INA125p, que teria de ser reconfigurado somente para compressões na célula de carga;
- Substituição do tacómetro K3HB-C por um outro com taxa de amostragem superior na ordem dos 10*Hz*.
- Reparação integral do freio;
- Instalação de um sensor de temperatura na célula de carga para futuras correções, visto que a célula aquece durante os testes, influenciando a o valor amostrado.

No *Software*:

- Revisão do código C Arduino para adequação a novo *hardware*:
- Análise e optimização da biblioteca Arduino MAX6675 de modo a obter uma taxa de aquisição de temperaturas superior;
- Adicionar funções de calibração de sensores e conversão dos valores adquiridos diretamente para o ficheiro de texto no Software Power Logger;
- Adicionar ao *Software* a visualização gráfica dos valores recolhidos em tempo real.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

Al Grippo and Bruce Bowling. *Knock Sensing System for MegaSquirt-II.* 22 de 08 de 2013. http://www.megamanual.com/ (acedido em 18 de 11 de 2013).

—. *MegaSquirt-II.* 2013 de 7 de 18. http://www.megamanual.com/ms2/ (acedido em 2013 de 11 de 21).

Arduino. *Arduino Mega 2560.* s.d. http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560.

—. *Download the Arduino Software.* s.d. http://www.arduino.cc/en/Main/Software.

Blayer, Ryan McLaughlin e E. J. *MAX6675 Arduino Library.* s.d. https://github.com/ryanjmclaughlin/MAX6675-Library (acedido em 2 de 10 de 2013).

BOSCH. *Mechanical Gasoline Fuel-Injection System with Lambda CIlosed-Loop Control.* Bosch, 1981.

Brown, Bruce Carter and Thomas R. *HANDBOOK OF OPERATIONAL AMPLIFIER.* Dallas, Texas 75265: Texas Instruments Incorporated, 2001.

Bruce Bowling, Al Grippo e Lance Gardiner. *Megamanual - How MegaSquirt® EFI Controllers Work.* 18 de 07 de 2013. http://www.megamanual.com/v22manual/mfuel.htm#inject (acedido em 2013 de 11 de 22).

—. *Megamanual - Wiring and Sensors.* 19 de 7 de 2013. http://www.megamanual.com/v22manual/mwire.htm.

—. *MegaSquirtII - Assembling Your MegaSquirt V3.0 Main Board.* 18 de 7 de 2013. http://www.megamanual.com/ms2/V3assemble.htm.

Charles O. Probst, SAE. *Bosch Fuel Injection & Engine Management.* Cambridge, Massachusetts: Robert Bentley, 1989.

Churchill, Jeremy. *BMW K100 & K75 Owners Workshop Manual.* Haynes Publishing Group, 1988.

Culve, James Murray e Ken. *Megasquirt and Microsquirt - Tach (RPM) input.* 26 de 3 de 2013. http://www.msextra.com/doc/general/tachin.html.

ExtraEFI. *MS2 Settings Manual.* s.d. http://www.extraefi.co.uk/MS2_Settings.html#morecon (acedido em 20 de 9 de 2013).

Falla, Brian. *Alcohol and Water Injection - The Basics.* s.d. http://www.nicoclub.com/archives/alcohol-and-water-injection-the-basics.html (acedido em 2013 de 11 de 1).

Goodwin, Antuan. *A brief intro to OBD-II technology.* 14 de 4 de 2010. http://reviews.cnet.com/8301-13746_7-20002489-48.html (acedido em 20 de 11 de 2013).

Grippo, Bruce Bowling e Al. *MegaSquirt.* 8 de 12 de 2013. http://www.msextra.com/doc/index.html.

Hawksley, Phil. *BMW K75T Specifications.* 22 de 10 de 2013. http://www.bmbikes.co.uk/specpages/K75T.htm (acedido em 22 de 10 de 2013).

History of Engines. s.d.

http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Laval,+Carl+Gustaf+Patrik+de. s.d. http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Laval,+Carl+Gustaf+Patrik+de (acedido em 20 de 9 de 2013).

http://pt.wikipedia.org/wiki/Roda. s.d. http://pt.wikipedia.org/wiki/Roda (acedido em 23 de 9 de 2013).

James Murray, Ken Culver e Philip Ringwood. *Megasquirt (V3.0 board) - Spark/ignition output.* 8 de 2 de 2013. http://www.msextra.com/doc/general/sparkout-v30.html.

—. *Megasquirt (V3.0 board) - Tach input.* 26 de 3 de 2013. http://www.msextra.com/doc/general/tachin-v30.html#vrpull.

—. *Megasquirt-3 MS3 Trigger Wheel.* s.d. http://msextra.com/doc/ms3/trigger-wheel.html (acedido em 6 de 5 de 2013).

—. *MS2-Extra Dual Wheel Manual.* s.d. http://www.msextra.com/doc/ms2extra/MS2-Extra_Dual.htm (acedido em 5 de 6 de 2013).

Kay, Peter H. 2001. http://members.home.nl/opeltje/ecu15MOTRONIC.pdf (acedido em 19 de 11 de 2013).

KCET. 13 de Fevereiro de 2012. http://www.kcet.org/socal/departures/landofsunshine/laws-that-shaped-la/how-los-angeles-began-to-put-its-smoggy-days-behind.html (acedido em 02 de 11 de 2013).

Martins, Jorge. *Motores de Combustão Interna.* Praça da Corujeira n.º 38 4300-144 Porto: Publindústria, Edições Técnicas, 2013.

Maxim Integrated. *Maxim Intgrated - MAX6675.* 24 de 7 de 2013. http://www.maximintegrated.com/datasheet/index.mvp/id/3149.

—. *Modern Thermocouples and a High-Resolution Delta-Sigma ADC Enable High-Precision Temperature Measurement.* 17 de 2011. http://www.maximintegrated.com/app-notes/index.mvp/id/5032.

McLaughlin, Richard. *Warwick control technologies.* s.d. http://www.warwickcontrol.com/ata/Infobackup_and_library/Basicbus.pdf (acedido em 20 de 11 de 2013).

Motec. *Motec PLM.* 24 de 6 de 2005. http://www.motec.com/plm/plmdownload/.

Motor Dream. *Indústria Próximo motor rotativo da Mazda terá ignição a laser.* 27 de 06 de 2011. http://motordream.uol.com.br/noticias/ver/2011/07/01/proximo-motor-rotativo-da-mazda-tera-ignicao-a-laser (acedido em 20 de 11 de 2013).

Murray, James. *MS2/Extra - Loading firmware and Upgrade Notes.* 21 de 11 de 2013. http://www.msextra.com/doc/ms2extra/upgrade.html#ms2bg (acedido em 2013 de 11 de 22).

National Instruments. *National Instruments - NI USB-6008.* s.d. http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/pt/nid/201986 (acedido em 1 de 10 de 2013).

Oliveira, Rui Silva. *Automotor.* s.d. http://www.automotor.xl.pt/Not%C3%ADcias/DetalhedeNot%C3%ADcias/tabid/178/itemId/12946/Default.aspx (acedido em 30 de 10 de 2013).

Olsson, Martin. 5 de 1 de 2008. http://en.wikipedia.org/ (acedido em 12 de 11 de 2013).

Özdalyan, Mustafa Bahattin Çelik e Bülent. "InTech — Open Access Company." *Intech.* s.d. http://www.intechopen.com/ (acedido em 2013 de 11 de 19).

Philip Ringwood, James Murray, Ken Culver e Lance. *MS1-Extra Ignition Hardware manual.* 2011 de 7 de 17. http://www.msextra.com/doc/ms1extra/MS_Extra_Ignition_Hardware_Manual.htm.

—. *MS2-Extra - Conversion / Software Manual.* s.d. http://www.msextra.com/doc/ms2extra/MS2-Extra_Conversion.htm#more_engine (acedido em 12 de 9 de 2013).

—. *MS2-Extra - General Ignition Manual.* 24 de 12 de 2012. http://www.msextra.com/doc/ms2extra/MS2-Extra_Gen_Ignition.htm#moreign.

—. *MS2-Extra - General Ignition Manual.* s.d. http://www.msextra.com/doc/ms2extra/MS2-Extra_Gen_Ignition.htm#ignsets (acedido em 12 de 9 de 2013).

Pucheng Sensors. *Knock Sensor.* s.d. http://www.pucheng.com.cn/en/products_15.asp (acedido em 18 de 11 de 2013).

Tech Edge. *WBo2.* 18 de 03 de 2013. http://wbo2.com/lsu/lsu4.htm.

Texas Instruments. *LM158/LM258/LM358/LM2904 Low Power Dual Operational Amplifiers.* Dallas, Texas 75265: Texas Instruments Incorporated, 2000.

Toyota Motor Sales. *Autoshop101.* s.d. http://www.autoshop101.com/ (acedido em 18 de 11 de 2013).

Viamichelin. s.d. http://www.viamichelin.pt/.

Volvo Car Corporation. *Service Manual - LH-Jetronic 2.4 Fuel System Engine B 230 F.* 1988.

Yourdictionary. s.d. http://images.yourdictionary.com/steam-engine (acedido em 3 de 10 de 2013).

ANEXO A – ESQUEMA ELÉTRICO K75

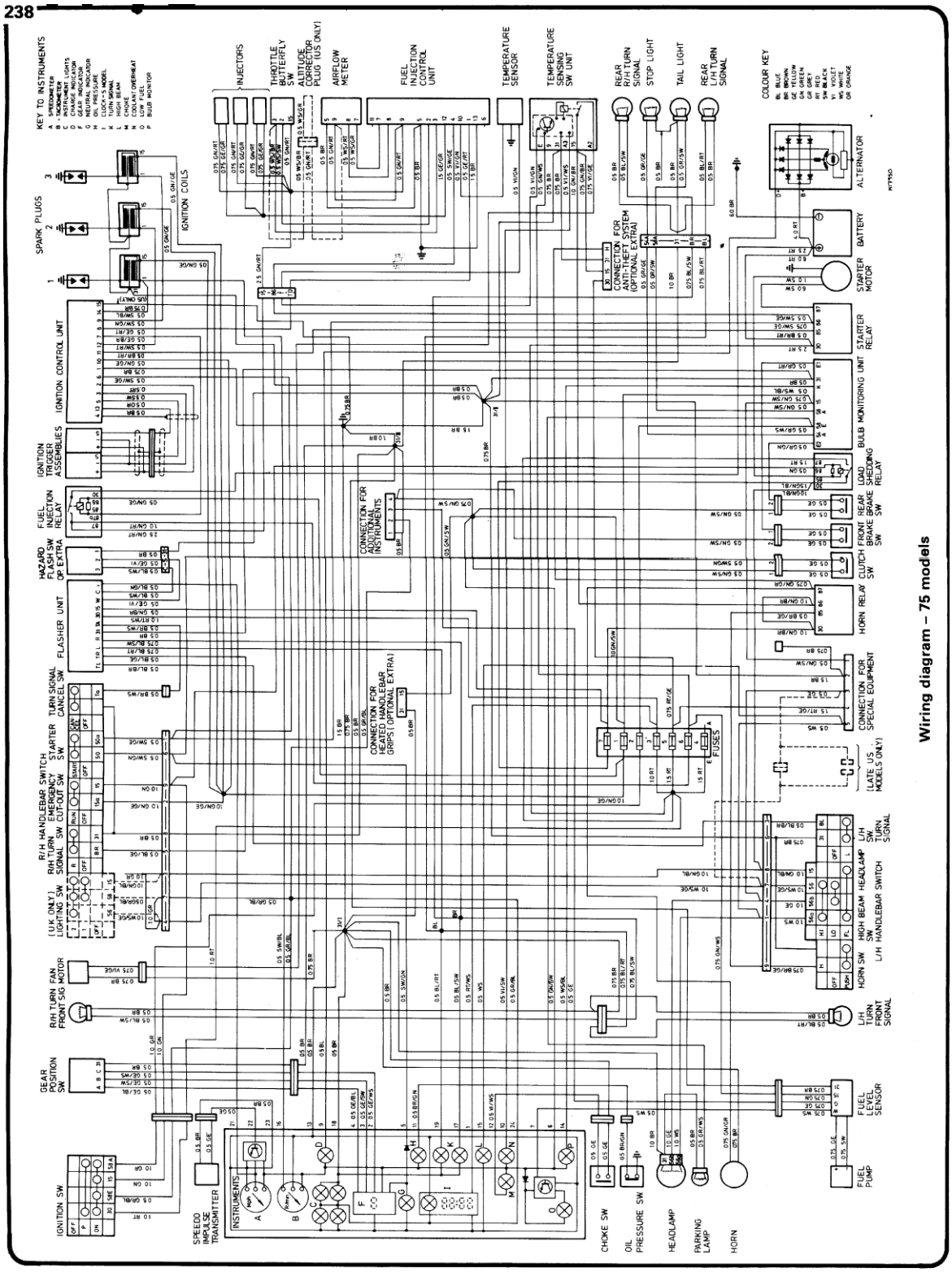
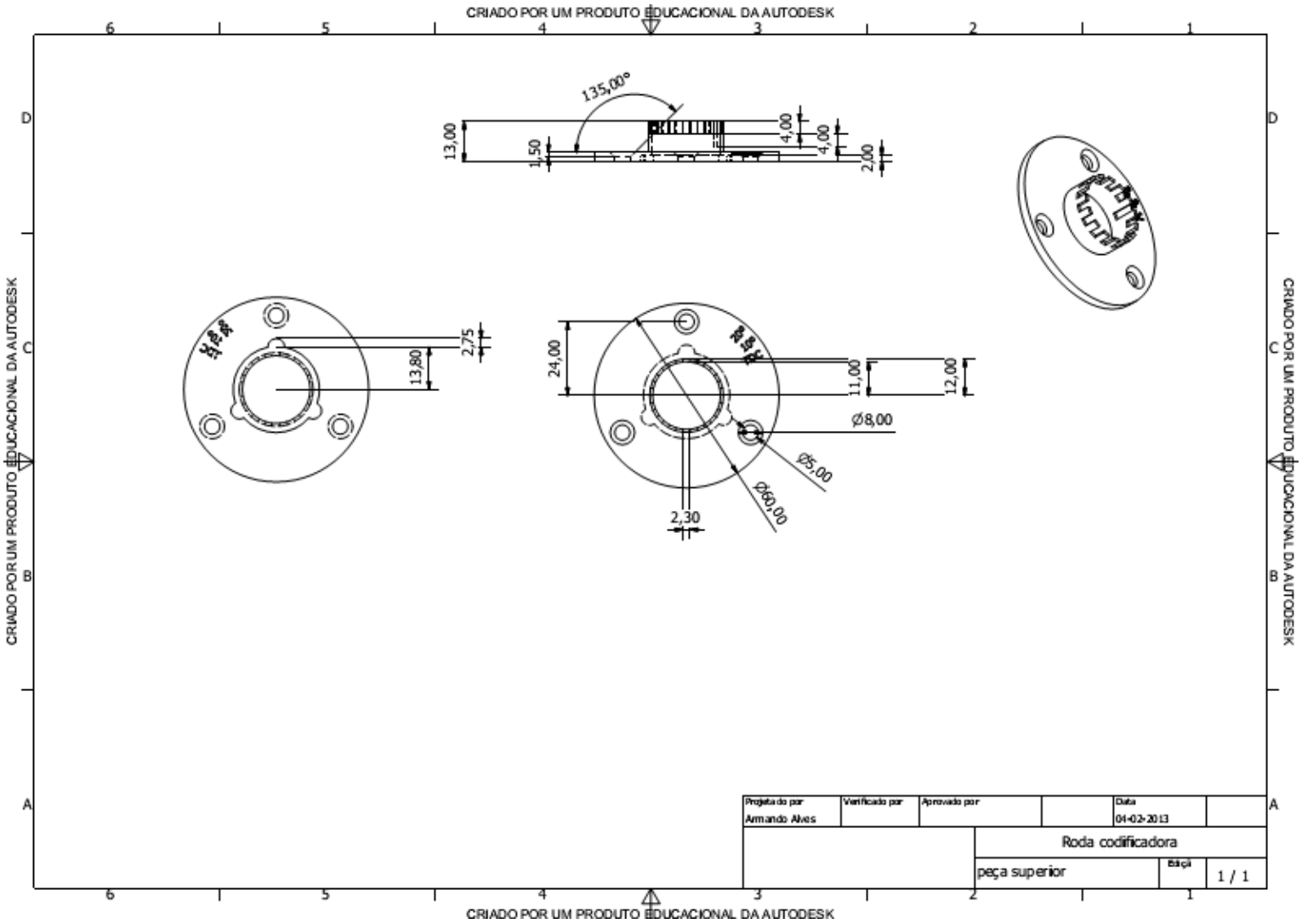
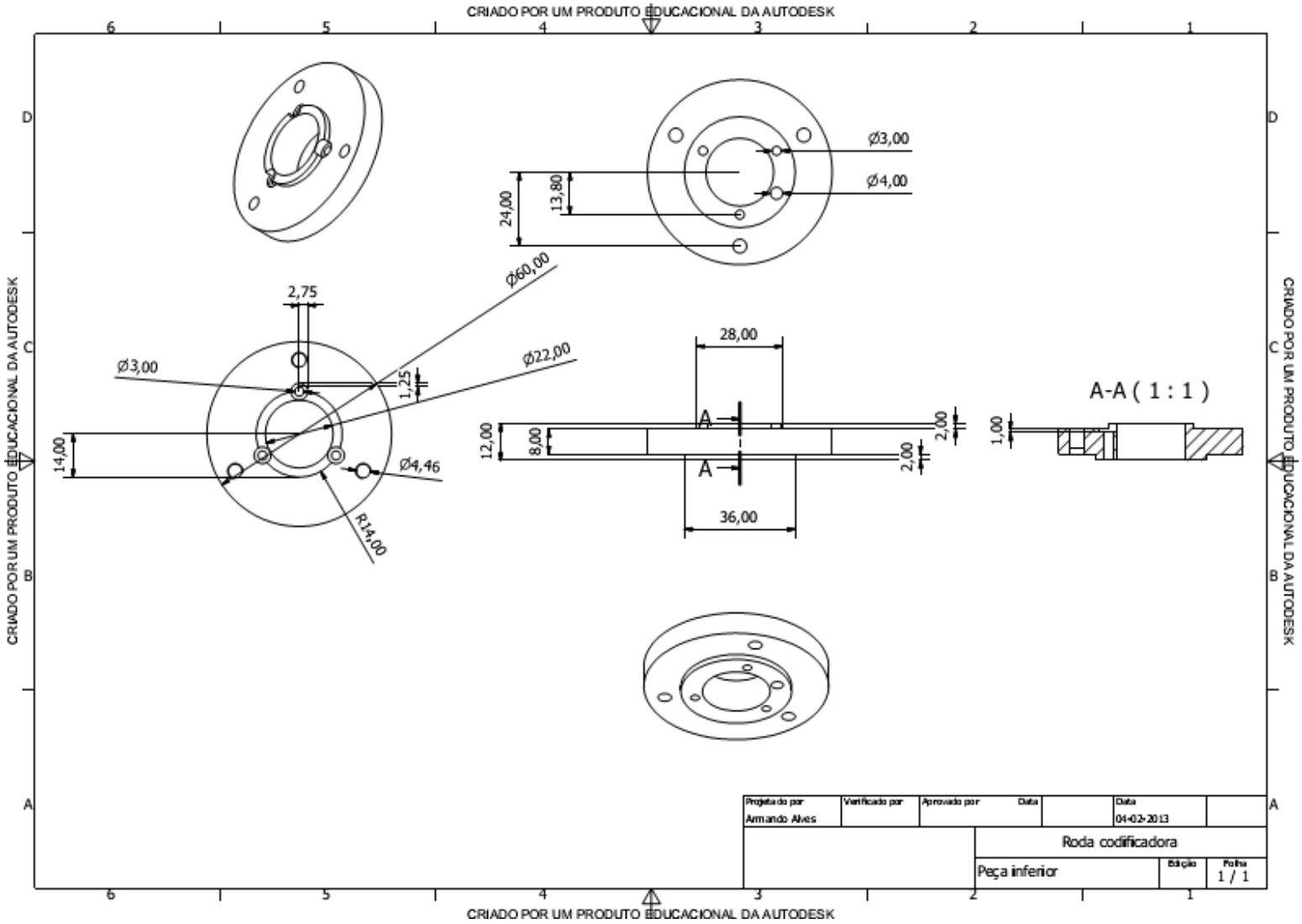


Figura A.0.1 – Esquema elétrico BMW K75

ANEXO B - DESENHO TÉCNICO DA RODA CODIFICADORA




CRIADO POR UM PRODUTO EDUCACIONAL DA AUTODESK
Ø3,00
Ø4,00
24,00
13,80
Ø60,00
2,75
Ø3,00
1,25
Ø22,00
14,00
Ø4,46
R14,00
28,00
12,00
8,00
2,00
2,00
36,00
A-A (1 : 1)
1,00
Projetado por
Armando Alves
Verificado por
Aprovado por
Data
Data
04-02-2013
Roda codificadora
Peça inferior
Edição
Folha
1 / 1

ANEXO C - DOCUMENTAÇÃO KAL-D R/T

KAL-D R/T

Dual Mode RPM/Counter or Frequency Meter

Features

- UL/CSA Listed, CE Certified
- Requires Only One Pulse Per Unit of Measure
- Doesn't Require Multi-Tooth Gears
- NEMA 4X / IP65 Front
- 5 Digit Ratemeter / 6 Digit Totalizer
- Low Cost
- RPM & Total

Application:
The KAL-DR/T measures the time between pulses (1/tau), It shows rate per minute (RPM)while keeping track of total units in an internal counter. An external connection causes a change from RPM to RPS (frequency)(No totalizer in RPS mode) No gears, no expensive inductive sensors - just a simple proximity switch sensing 1 pulse per revolution of the shaft - we do the rest!

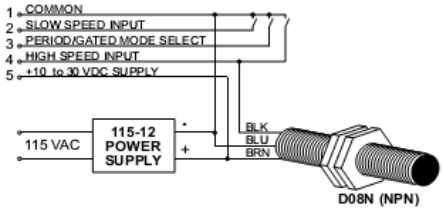
Description:
The KAL- DR/T monitors both rate and count continuously and simultaneously. While the display is indicating units per minute, a "background) totalizer keeps count of events or items. A pushbutton on the front panel toggles the display between rate and count and is also used to reset the count (by holding it pressed for 3 seconds)
An alternative gated mode of operation is available to measure signal frequency.
Maximum rate is 20000 in the RPM mode, or 50 kHz in the frequency mode. Connections are made via push on wire connectors for easy field installation. KAL- DR/T has a 6 digit, 0.276" high display and meets NEMA 4X standards from the front panel. It does not have a battery, so it must be powered from an external 10-30 VDC source.

SPECIFICATIONS
Power: (Pin 5) 10 to 30 VDC, 10mA
Display: 6 digit black LCD
Digit size 0.276" high
Temperature Range: + 14 to 140°F (-10 to 60°C)
Sealing: Front panel sealed to NEMA 4X
Connection: 5 pin, plug in connector with 9" leads supplied with meter.
Accuracy:
Period: 0.18%; 3 to 20K RPM.
Gated: ±1 LSD 1 to 50K RPS
Signal Inputs:
Slow Speed Input (Pin 2):
negative edge triggered
Low: < 0.7V, High: 5 to 18 V or open
Max. speed: 30 Hz, Min Pulse 15 mS
Input Impedance: 1 M Ohm
High Speed Input (Pin 4):
negative edge triggered
Low: < 0.7V, High: 5 to 18 V or open
TTL and CMOS compatible
Input Impedance: 1 M Ohm
Update Time 2 sec. (min.) to 18 sec. (max.) depending on period.
Period (RPM) Mode:
Max. speed: 333 Hz, Min. pulse 1.5 mS (3 to 20K RPM)
Gated (Frequency) Mode:
Max. Speed: 50 kHz, Min. Pulse 10 uS (1 to 50K RPS)
Period/Gated Mode Select (Pin 3):
Linked to Pin 1: Frequency Meter
Left Open: RPM Meter
Totalizer:
999999 maximum display (333 Hz maximum input speed)
Approvals: UL File - E135458, CSA File - LR96702, CE Approved
Material: ABS
Weight: 1.7 oz.

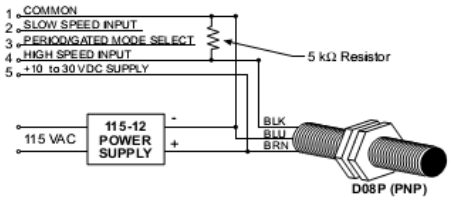
RATE INDICATORS

Typical Hookup:

NPN Hookup:

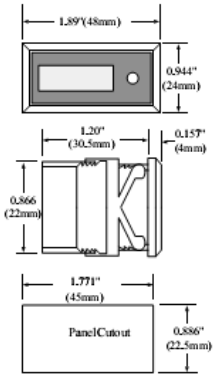


PNP Hookup:

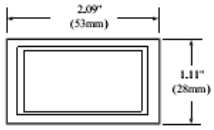


NOTE: When PNP sensors are used, connect a 5KΩ resistor between pins 1 and 4.

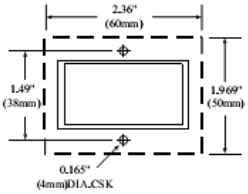
Mounting:



Adaptors (included)
KAL-DP1X2



KAL-DP1



RATE INDICATORS

Our D Series Proximity Sensors interface easily with our full line of counters and ratemeters. Use PNP sensors (D_P) on all KEP units except KAL Series, which requires D_N (NPN) sensors. (See Sensors & Accessories Section)

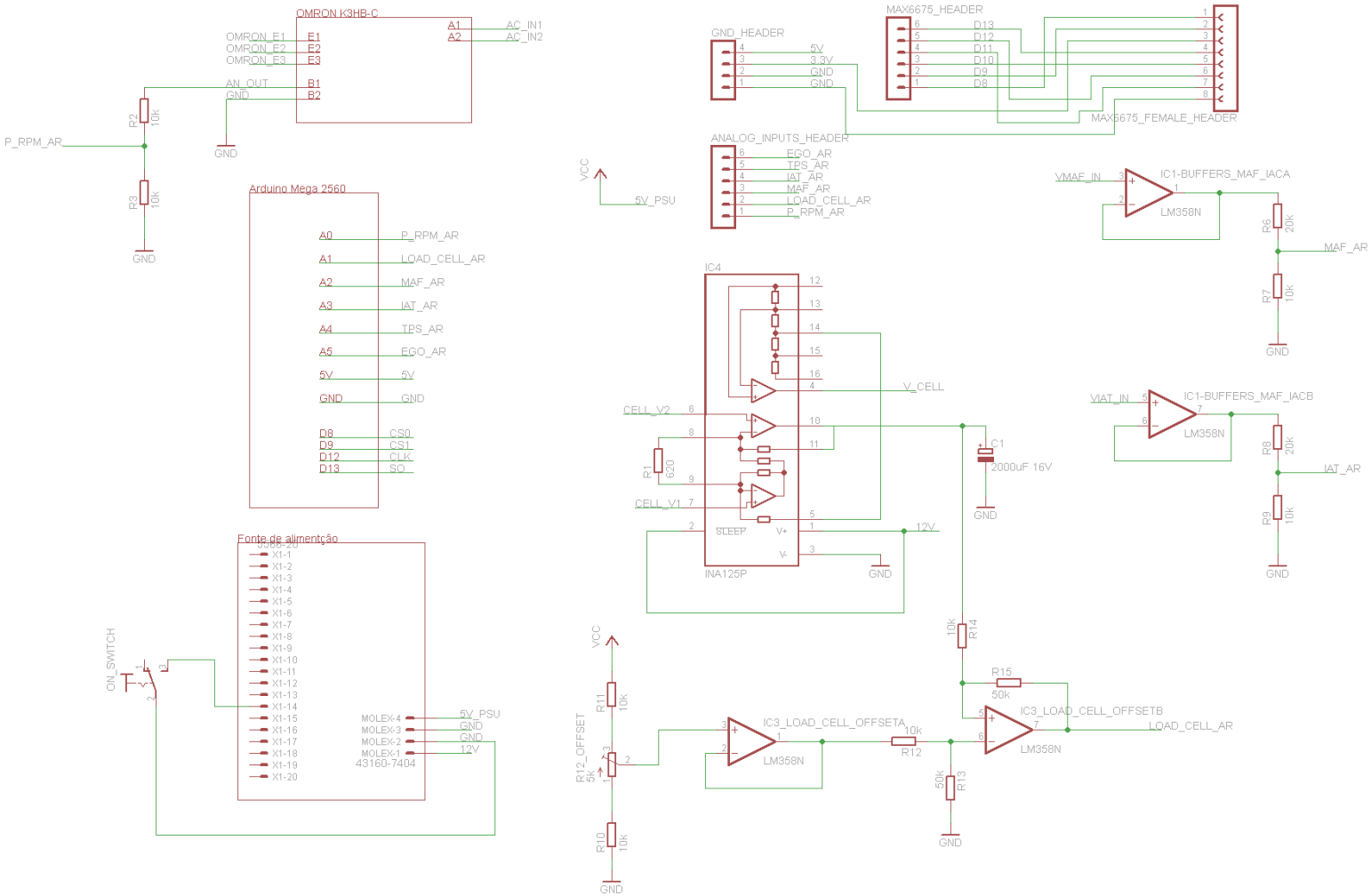
HOW TO ORDER

Part Number	Description
KAL- DR/T	Ratemeter with Totalizer
KAL - DTB	Terminal block adaptor

Accessories

115-12 ..... 12 V Power Supply
N7 - Explosion proof housing (see accessories section)

ANEXO D - ESQUEMA DO PROTÓTIPO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO



ANEXO E - CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO ARDUINO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO

```
#define pIAT A3
#define pMAF A2
#define pTPS A4
#define pWB_EGO A5
#define pC_CARGA A1
#define pRPM A0
volatile float time = 0;
volatile float time_last = 0;
#include <MAX6675.h>


int CS_TAGUA = 8;              // CS pin on MAX6675
int CS_EGTs = 9;
int SO = 12;               // SO pin of MAX6675
int SCLK = 13;               // SCK pin of MAX6675
int units = 1;             // Units to readout temp (0 = raw, 1 = ˚C, 2 = ˚F)
float TAGUA = 0.0;  // Temperature output variable
float TEGTS = 0.0;

// Initialize the MAX6675 Library for our chip
MAX6675 EGTs(CS_EGTs,SO,SCLK,units);
MAX6675 Agua(CS_TAGUA,SO,SCLK,units);
long int i;
int carga_min,carga_max;
void setup() {
  i=0;
   attachInterrupt(0, fan_interrupt, RISING);
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode(pIAT,INPUT);
  pinMode(pMAF,INPUT);
  pinMode(pTPS,INPUT);
  pinMode(pWB_EGO,INPUT);
  pinMode(pC_CARGA,INPUT);
  pinMode(pRPM,INPUT);
  Serial.begin(19200);
  Serial.println("Seq   RPMmed    rpmi    IAT    MAF    TPS    WB_EGO    Carga  TAGUA EGTs");
}
#define agua 0
#define EGT 1
int micros_r=0;
void loop() {
  float IAT,MAF,TPS,WB_EGO,RPM,C_carga;
  long int iRPM;
  int rpm_calc,rpmi;
  rpmi=1000;
  int Agua_EGT=0;
  while(1){

  if(Agua_EGT==EGT){
  TEGTS = EGTs.read_temp();
  digitalWrite(CS_EGTs,LOW);
```

```
delay(2);
digitalWrite(CS_EGTs,HIGH);
//delay(180);
Agua_EGT=agua;
}
else{
TAGUA = Agua.read_temp();
digitalWrite(CS_TAGUA,LOW);
delay(2);
digitalWrite(CS_TAGUA,HIGH);
Agua_EGT=EGT;
}

for(int c=0;c<5;c++){
iRPM = analogRead(pRPM);
delay(10);
C_carga = analogRead(pC_CARGA);
//carga_min=C_carga;
//carga_max=C_carga;
//C_carga = analogRead(pC_CARGA);
delay(10);
/*
for(int rep=0;rep>9;rep++){
C_carga = analogRead(pC_CARGA);
delay(10);
if(carga_min>C_carga)  carga_min=C_carga;
if(carga_max<C_carga)  carga_max=C_carga;
}
C_carga=(carga_max-carga_min)/2 + carga_min;
*/
IAT = analogRead(pIAT);
delay(10);
MAF = analogRead(pMAF);
delay(10);
TPS = analogRead(pTPS);
delay(10);
WB_EGO = analogRead(pWB_EGO);
delay(10);
//iRPM = RPM*10000/1024;

//C_carga = (C_carga*1.03)*5/1024*1000;
//IAT = IAT*5/1024;
//MAF = MAF*5/1024;
//TPS = TPS*5/1024;
//WB_EGO = WB_EGO*5/1024;

if(time>0.000118){
rpm_calc=1/time*1000000*60/3;
if(rpm_calc<10000 & rpm_calc>200)
rpmi=rpm_calc;

}


Serial.print(micros());
Serial.print(";");
Serial.print(iRPM);
Serial.print(";");
```

```
  Serial.print((int)rpmi);
  Serial.print(";");
  Serial.print((int)IAT);
  Serial.print(";");
  Serial.print((int)MAF);
  Serial.print(";");
  Serial.print((int)TPS);
  Serial.print(";");
  Serial.print((int)WB_EGO);
  Serial.print(";");
  Serial.print((int)C_carga);
  Serial.print(";");
  Serial.print(TAGUA);
  Serial.print(";");
  Serial.println(TEGTS);
  }
  }
}
void fan_interrupt()
{
   time = (micros() - time_last);
   time_last = micros();
}
```

ANEXO F – MANUAL DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Power Logger – Manual de funcionamento

O Power Logger é um sistema de medição e recolha de dados para determinação de curvas de binário em motores de combustão interna. Este sistema é composto por um freio hidráulico Go Power Systems onde está instalada uma célula de carga e o sensor de rotação.

Funcionalmente este sistema permite a medição da velocidade de rotação do motor e o binário aplicado teoricamente até 130N.m. Ainda este é complementado com a possibilidade de medir outros parâmetros nomeadamente tensão de sensores e temperaturas através de termopares do tipo K.

Características Técnicas

	Célula de carga	Tacômetro	MAF	IAT	TPS	EGO	Temperatura 1	Temperatura 2
Resolução	976,56µV	9,8 RPM	14,60 mV	14,60 mV	4,88mV	4,88mV	0,25°C	0,25°C
Taxa de amostragem	16Hz	0,2Hz	16Hz				2Hz	2Hz
Gama	2,40 - 3,40V	0 - 10000rpm	0 - 15V	0 - 15V	0 - 5V	0 - 5V	0° - 1200°C	0° - 1200°C

0,15N.m, 0 - 130N.m

Legenda do sistema

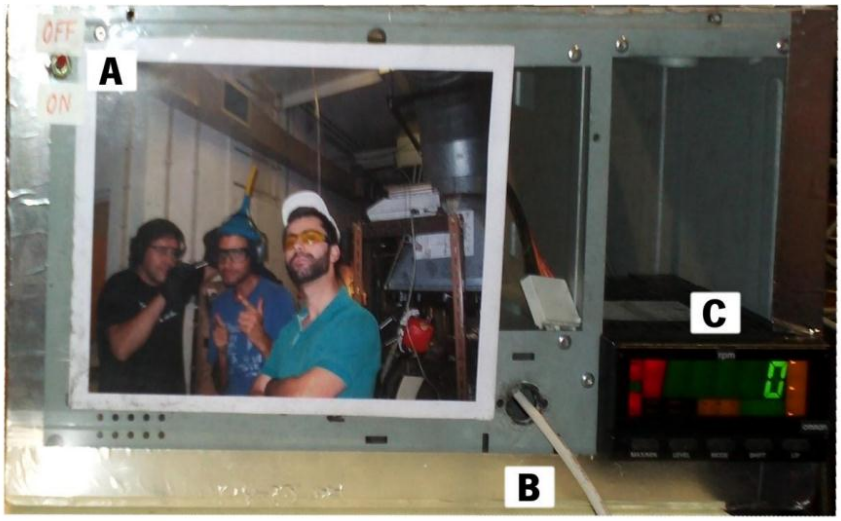


Figura 1 – Caixa do sistema de aquisição em vista frontal

A – Interruptor de ligação do sistema;

B – Conetor de ligação USB;

C - Tacômetro

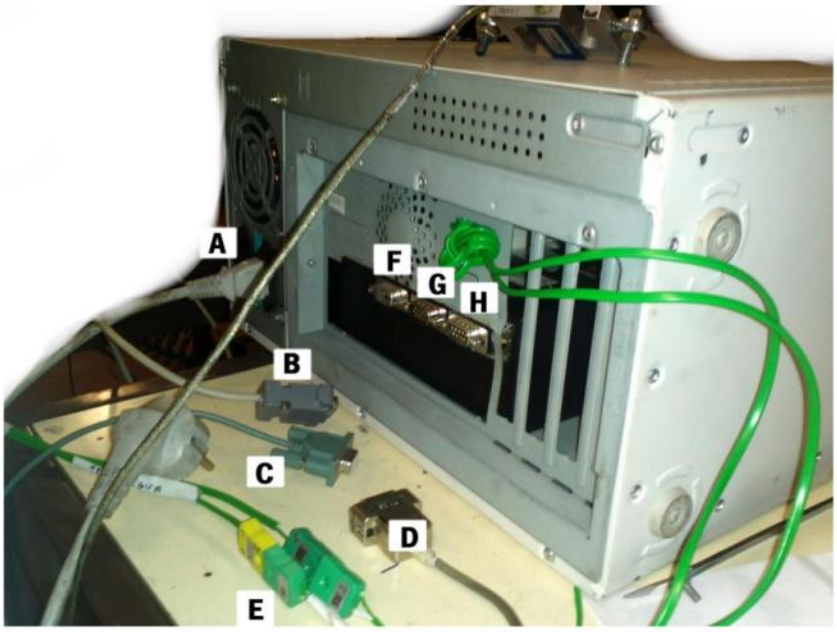


Figura 2 - Caixa do sistema de aquisição em vista anterior.

A – Conetor elétrica de energia do sistema;

B – Conetor dos sensores extra;

C – Conetor do sensor de rotação do freio;

D – Conetor da célula de carga;

E – Fichas de ligação dos termopares;

F – Ficha de ligação do sensor de rotação do freio;

G – Ficha de ligação da célula de carga;

H – Ficha de ligação dos sensores extra;

Procedimento de ligação do sistema

Após da correta instalação do freio hidráulico Go Power Systems D100 Series devem ser efetuadas as seguintes ligações de acordo com a legenda da Figura 2:

1. Ligação do conetor A à tomada elétrica;
2. Ligação dos conectores C e D nas fichas F e G na retaguarda da caixa do sistema;
3. Ligação do conetor B à ficha H (opcional para leitura de outros sensores);
4. Ligação dos termopares às fichas E (opcional para leitura de temperaturas);

Em seguida o *software* Power Logger deverá ser instalado no computador através do ficheiro de instalação "setup" caso ainda não esteja, Figura 3. Antes da execução do *software* Power Logger deverá ser ligado o conetor B da Figura 2 ao computador e instalados os *drivers* da placa Arduino presentes na pasta "drivers". Para mais informação sobre a instalação dos *drivers* pode ser consultado o *website* http://arduino.cc/en/guide/windows#toc4.

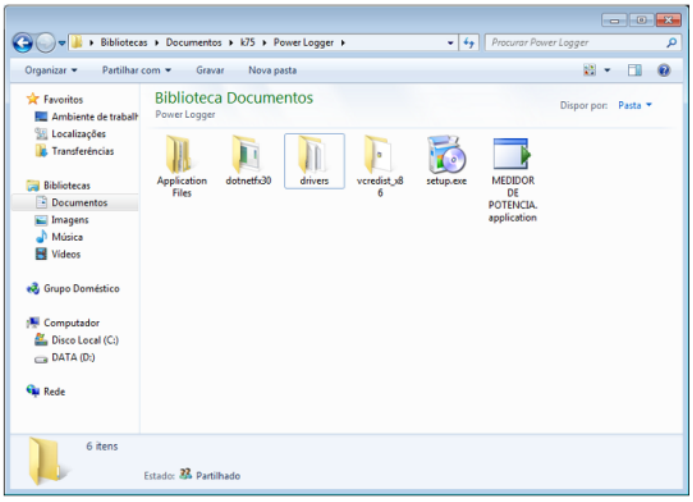


Figura 3 – Ficheiros de instalação do *software* Power Logger

Sucessivamente o *software* de aquisição Power Logger deverá ser executado automaticamente caso a instalação seja bem-sucedida, Figura 4. Tendo o *software* a ser executado deverá ser ligado o interruptor A na Figura 1 para a posição *ON*.

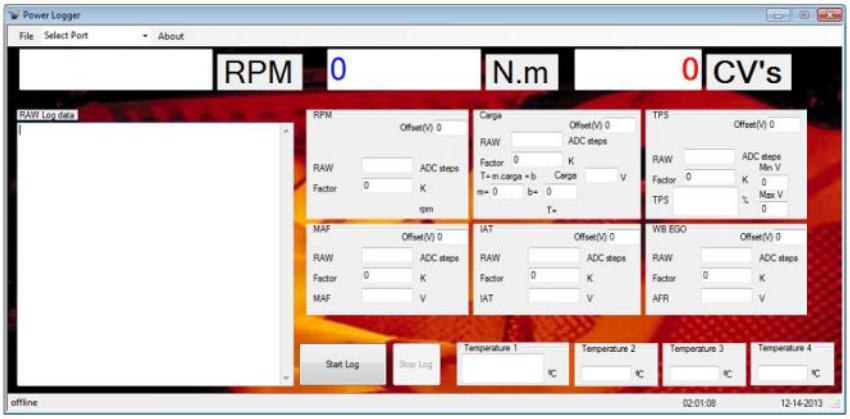


Figura 4 – *Software* Power Logger

De modo a inicializar a leitura de valores pelo software deverá ser selecionada a porta de comunicação correspondente à placa através da *combobox* localizada no canto superior direito da janela e clicando no botão "Start Log". Após a seleção da porta de comunicação pela *combobox* a comunicação bem-sucedida poderá ser verificada pela mudança de estado de comunicação de "offline" para "online" no ponto nº3 da Figura 5.

Figura 5 – Procedimento no *software* para iniciar aquisição de dados

Para proceder ao término da aquisição basta clicar no botão "Stop Log".

Configuração de parâmetros

Para a visualização da variação dos valores em tempo real é necessária a introdução dos parâmetros assinalados na Figura 6.

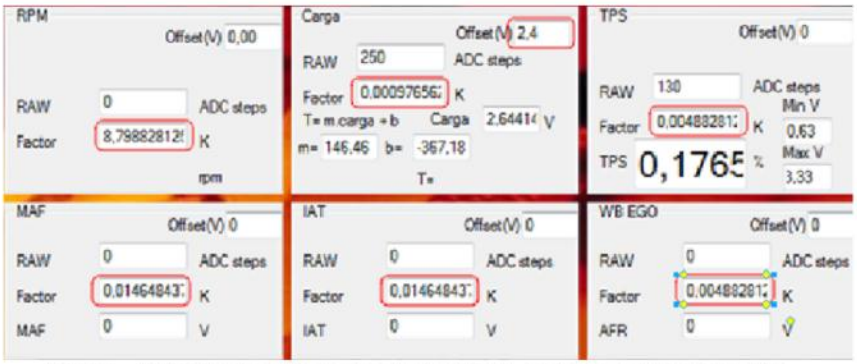


Figura 6 – Parâmetros de configuração para visualização em tempo real dos valores lidos

Na caixa relativa à leitura dos valores da "Carga", os parâmetros **m** e **b** correspondem aos valores da equação de calibração da célula de carga a qual deverá ser do tipo:

$$y=m.x+b$$

Tratamento de dados

Os dados amostrados pela placa de aquisição são mostrados na caixa de texto "RAW Log data", Figura 7, e devem se ser guardados através do controlo da barra de menus "File->Save" após a paragem de leitura pelo botão "Stop Log", que guarda estes valores num ficheiro do tipo txt.

Figura 7

O nome do ficheiro é gerado automaticamente composto pela hora e data do teste.

A estrutura do ficheiro contem na primeira linha a hora e data de início do teste, e na ultima linha a hora e data do final do teste, Figura 8. Entre estas linhas encontram-se registados os valores lidos pela placa definidos pela trama da Figura 9

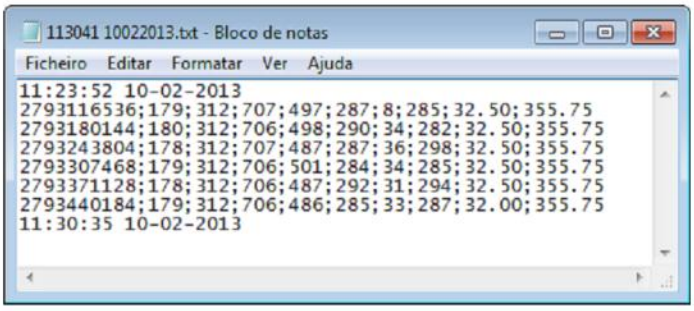


Figura 8

Seq	RPMmed	rpmi	IAT	MAF	TPS	WB_EGO	Carga	TAGUA	EGTs	\n

Figura 9

Legenda da trama (Figura 9)

Seq - *time stamp* em µS;

RPMmed – valor da conversão ADC do tacômetro;

rpmi – valor da conversão da velocidade de rotação instantânea;

IAT – valor da conversão ADC relativa à tenão no termístor no caudalímetro;

MAF – valor da conversão ADC relativa à tensão do potenciómetro da comporta do caudalímetro;

WB_EGO – valor da conversão ADC proveniente do controlador Motec(sensor lambda);

Carga – valor da conversão ADC relativo à célula de carga;

TAGUA – Valor em graus *Celsius* com duas casas decimais do termopar da temperatura da água derivado da conversão ADC efetuada, calculada e transmitida à placa de aquisição digitalmente (SPI) pelo MAX6675;

EGTs – Valor em graus *Celsius* com duas casas decimais do termopar da temperatura dos gases de escape derivado da conversão ADC efetuada, calculada e transmitida à placa de aquisição digitalmente (SPI) pelo MAX6675;

Conversão de Valores

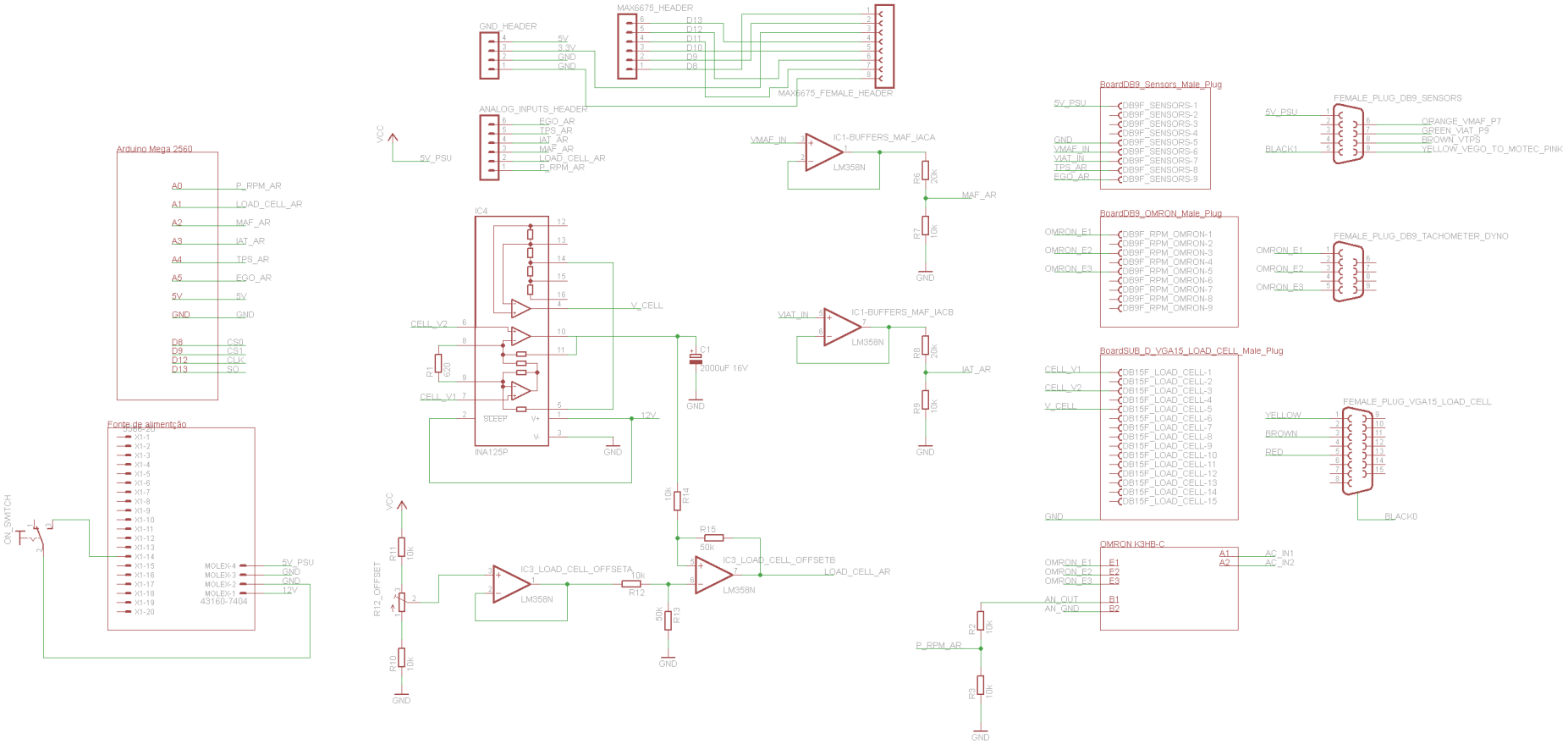
Os valores registados, à exceção das temperaturas, têm necessidade de ser convertidos. À exceção do valor da conversão ADC da célula de carga devem ser calculados pela multiplicação direta da resolução correspondente ao parâmetro amostrado. Os cálculos deverão ser efetuados pelas seguintes fórmulas:

- RPM = RPMmed x 9,8
- V_{IAT} = IAT x 0,00488
- V_{MAF} = MAF x 0,00488
- V_{TPS} = TPS x 0,00488
- V_{WB_EGO} = WB_EGO x 0,00488

Para a conversão dos valores da célula de carga é utilizada a fórmula:

- $V_{célula}$ = Offset + (carga x 0,00097656)
-

ANEXO G – ESQUEMA ELETRÓNICO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS



ANEXO H – CÓDIGO DE PROGRAMAÇÃO ARDUINO DE SIMULAÇÃO DO SENSOR DE POSIÇÃO DA CAMBOTA

```
#define S1 13
#define S2 12
#define acelerador A0
#define sim_rot 8000

long int tempo_us_ini;
long int tempo_us_final;
#define ppulso 0.1327 //percentagem  da duração do pulso em relação a uma rotação
int RPM; //rotação
float rts; //rot/seg
long int periodo_us=120000;//500RPM
//long int periodo_is=120000;//500RPM
//long int periodo_us=60000;//1000RPM
//long int periodo_us=40000;//1500RPM
//long int periodo_us=30000;//2000RPM
//long int periodo_us=24000;//2500RPM
//long int periodo_us=20000;//3000RPM
//long int periodo_us=17143;//3500RPM
//long int periodo_us=15000;//4000RPM
//long int periodo_us=13333;//4500RPM
//long int periodo_us=12000;//5000RPM
//long int periodo_us=10909;//5500RPM
//long int periodo_us=10000;//6000RPM
//long int periodo_us=9231;//6500RPM
//long int periodo_us=8571;//7000RPM
//long int periodo_us=8000;//7500RPM
//long int periodo_us=7500; //8000RPM
int erro=9;
int t1;
int t2;
int t3;
int t4;
int t5;
int t6;
```

```
void setup() {
    t1 = 0.1409314124*periodo_us;
    t2 = 0.24722755*periodo_us;
    t3=t1;
    t4=t2;
    t5=t1;
    t6 = 0.24565026*periodo_us;
    pinMode(S1,OUTPUT);
    pinMode(S2,OUTPUT);
    Serial.begin(19200);
    digitalWrite(S1,HIGH);
    digitalWrite(S2,HIGH);
    Serial.println(periodo_us);
    Serial.println(t1);
    Serial.println(t2);
    Serial.println(t6);

}
int tempo_ini;
int tempo;

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  while(1){

  //digitalWrite(S1,LOW);
  //digitalWrite(S2,HIGH);
  PORTB = 0b01000000;
  dmicros(t1-erro);
  //digitalWrite(S1,HIGH);
  PORTB = 0b11000000;
  dmicros(t2-erro);
  //digitalWrite(S1,LOW);
  //digitalWrite(S2,LOW);
  PORTB = 0;
  dmicros(t3-erro);
  //digitalWrite(S1,HIGH);
  //digitalWrite(S2,HIGH);
```

```
  PORTB = 0b11000000;
  dmicros(t4-erro);
  //digitalWrite(S2,LOW);
  PORTB = 0b10000000;
  dmicros(t5-erro);
  //digitalWrite(S2,HIGH);
  PORTB = 0b11000000;
  dmicros(t6-erro);
  }
}

void dmicros(int temp){
 while(temp>16000){
 delayMicroseconds(16000);
 temp=temp-16000;
 }
   delayMicroseconds(temp);



}
```